

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
 Отделение электроэнергетики и электротехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

| Тема работы |
|---|
| «Повышение безотказности работы электрооборудования насосных станций для нефтегазовой промышленности» |

УДК 622.276.53-83-027.45

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 5Г5Б | Абдрахманов Артем Айратович | | |

Руководитель ВКР

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|----------------|--------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОЭЭ ИШЭ | Кладиев С.Н. | к. т. н., доцент | | |

Консультант

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|------------|------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Болгов И.С | | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------|---------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОСГН ШИП | Мелик-Гайказян М.В. | к. э. н., доцент | | |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|----------|------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Фех А.И. | | | |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Руководитель ООП | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---|--------------|------------------------|---------|------|
| 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника | Тютеева П.В. | к. т. н., доцент | | |

Томск – 2019 г.

Результаты обучения по направлению
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

| Код результата | Результат обучения |
|----------------|--|
| Р 1 | Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем</i> . |
| Р 2 | Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов. |
| Р 3 | Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты</i> . |
| Р 4 | Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы. |
| Р 5 | Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> . |
| Р 6 | Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях. |
| Р 7 | Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> |
| Р 8 | Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники</i> . |
| Р 9 | Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> . |
| Р 10 | Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности. |
| Р 11 | Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности. |
| Р 12 | Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> . |

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики
Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Отделение электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Тютеева П.В.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

| |
|---------------------|
| Бакалаврской работы |
|---------------------|

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|--------------------------------|
| 5Г5Б | Абдрахманову Артему Айратовичу |

Тема работы:

| | |
|---|-------------------------|
| Повышение безотказности работы электрооборудования насосных станций для нефтегазовой промышленности | |
| Утверждена приказом директора | №3482/С от 06.05.2019г. |

| | |
|--|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 14.06.2019 |
|--|------------|

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

| | |
|---|--|
| <p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p> | <p>Техническая документация, техническая литература, научная литература.</p> |
|---|--|

| | |
|--|--|
| <p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p> | <p>Введение; внедрение энергоэффективных установок электроцентробежных насосов; описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; расчет статических и динамических характеристик, Исследование имитационной модели асинхронного тиристорного электропривода погружного насоса, социальная ответственность проекта; финансовый менеджмент; заключение.</p> |
| <p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p> | <p>Демонстрационный материал (презентация в MS Office Power Point)</p> |

| | |
|---|--------------------------------|
| <p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p> | |
| Раздел | Консультант |
| Социальная ответственность | Фех Алина Ильдаровна |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | Мелик-Гайказян Мария Вигеновна |

| | |
|--|----------|
| Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику | 15.02.19 |
|--|----------|

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|--------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОЭЭ ИШЭ | Кладиев С.Н. | к. т. н., доцент | | |
| Старший преподаватель | Болгов И.С. | | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 5Г5Б | Абдрахманов Артем Айратович | | |

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
 Уровень образования - Бакалавриат
 Отделение электроэнергетики и электротехники
 Период выполнения весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

| |
|---------------------|
| Бакалаврская работа |
|---------------------|

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

| | |
|--|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 14.06.2019 |
|--|------------|

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования) | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|---|------------------------------------|
| | Раздел 1. Внедрение энергоэффективных установок электроцентробежных насосов | |
| | Раздел 2. Анализ существующих схем и конструкций | |
| | Раздел 3. Расчетная часть | |
| | Раздел 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | |
| | Раздел 5. Социальная ответственность | |
| | Раздел 6. Заключение | |

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|----------------|--------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОЭЭ ИШЭ | Кладиев С.Н. | к. т. н., доцент | | |

Консультант

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|-------------|------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Болгов И.С. | | | |

СОГЛАСОВАНО:

| Руководитель ООП | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--|--------------|------------------------|---------|------|
| 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника | Тютеева П.В. | к. т. н., доцент | | |

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|--------------------------------|
| 5Г5Б | Абдрахманову Артему Айратовичу |

| Школа | ИШЭ | Отделение | Электроэнергетики и Электротехники |
|---------------------|----------|---------------------------|--|
| Уровень образования | Бакалавр | Направление/специальность | 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника |

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

| | |
|--|--|
| 1. Стоимость затрат технического проекта (ТП): на зарплату, страховые отчисления, накладные расходы. | Заработная плата сотрудников ТП определяется на основании Положения об оплате труда в ТПУ. Накладные расходы определяются на основании Сметы расходов по проектам ТПУ. |
| 2. Продолжительность выполнения ТП | Приблизительная продолжительность выполнения ТП составит 100 рабочих дней |
| 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов | В соответствии с Налоговым кодексом РФ |

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|---|--|
| 1. Оценка потенциала реализации ТП с позиции ресурсоэффективности | Составление SWOT - анализа проекта. Расчет коэффициента интегрального показателя ресурсоэффективности проекта. |
| 2. Планирование и формирование графика работ по реализации ТП | Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Ганта. |
| 3. Формирование сметы | Формирование сметы затрат на технический проект: - заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные нужды; накладные расходы. |

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

| |
|-----------------|
| 1. Матрица SWOT |
| 2. График Ганта |

| | |
|--|----------|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | 15.02.19 |
|--|----------|

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент | Мелик-Гайказян М.В. | к.э.н., доцент | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 5Г5Б | Абдрахманов Артем Айратович | | |

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

| | |
|---------------|--------------------------------|
| Группа | ФИО |
| 5Г5Б | Абдрахманову Артему Айратовичу |

| | | | |
|----------------------------|------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Школа | ИШЭ | Отделение (НОЦ) | Электроэнергетики и электротехники |
| Уровень образования | Бакалавр | Направление/специальность | Электроэнергетика и электротехника |

Тема ВКР:

| | |
|--|---|
| Повышение безотказности работы электрооборудования насосных станций для нефтегазовой промышленности | |
| Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»: | |
| 1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения | Объект исследования: погружной электродвигатель в насосных станциях |
| Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке: | |
| 1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: 1.1. Специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; 1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. | ГОСТ Р ИСО 26000-2012. Руководство по социальной ответственности. Н 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». Н 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда». ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы». |
| 2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия | Воздействие на работника физических факторов, связанных с: <ul style="list-style-type: none"> — несоответствующими нормам микроклиматическими параметрами воздушной среды; — с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания; — связанные с акустическими колебаниями в производственной среде; — со световой средой; — с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий |
| 3. Экологическая безопасность: 3.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду 3.2. Анализ «жизненного цикла» объекта исследования. 3.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды. | Описание проектируемой системы, утилизация электроустановок. |
| 4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: 4.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований. 4.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут | Возможные ЧС: Возможны возгорания в следствии короткого замыкания из-за ошибки оператора и нарушения целостности электрических проводов. Наиболее типичным ЧС бу- |

| | |
|--|---|
| при проведении исследований. 4.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС. | дет пожар в помещении. Предупреждающие мероприятиями являются наличие плана эвакуации на месте работы оператора, знание и соблюдение мер пожарной безопасности работниками, установка заземлителей. |
|--|---|

| | |
|--|--|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | |
|--|--|

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|-----------|------------------------|---------|----------|
| Старший преподаватель | Фех А. И. | | | 25.02.19 |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 5Г5Б | Абдрахманов Артем Айратович | | |

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 88 с., 30 рис., 19 таб., 16 источников.

Объектом исследования является асинхронный электропривод погружного насоса.

Цель работы - спроектировать регулируемый электропривод переменного тока для погружного центробежного насоса.

В процессе работы был произведен расчет и выбор электрооборудования для привода.

Для управления электроприводом принята система управления асинхронным двигателем со скалярным управлением.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Office Word 2010 на листах белой бумаге А4 с помощью программных средств Matlab, Mathcad.

Оглавление

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 13 |
| 1. ВНЕДРЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ..... | 15 |
| 1.1 Энергоэффективные установки электроцентробежных насосов для добычи нефти..... | 15 |
| 1.2 Прогнозирование энергоэффективности установок электроцентробежного насоса..... | 19 |
| 2. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СХЕМ И КОНСТРУКЦИЙ | 20 |
| 2.1 Основные способы добычи нефти. Их преимущества и недостатки..... | 20 |
| 2.2 Краткая характеристика скважин | 21 |
| 2.3 Состав и комплектность УЭЦН..... | 21 |
| 2.4 Технические характеристики погружного электродвигателя | 23 |
| 2.5 Основные технические данные кабельной линии | 24 |
| 2.6 Структура системы управления с частотным преобразователем..... | 25 |
| 2.7 Особенности применения ПЧ в системе «ПЧ – трансформатор - погружной двигатель» | 26 |
| 3. РАСЧЁТНАЯ ЧАСТЬ | 27 |
| 3.1 Выбор двигателя..... | 27 |
| 3.2 Выбор преобразователя частоты | 28 |
| 3.3 Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя по паспортным данным..... | 31 |
| 3.4 Расчет и построение естественной механической и электромеханической статических характеристик. | 36 |
| 3.5 Структурная схема силового канала электропривода..... | 41 |
| 4. Расчет и построение искусственных механических и электромеханических характеристик разомкнутой системы «Преобразователь частоты - | |

| | |
|---|----|
| Асинхронный двигатель» | 45 |
| 4.1 Функциональная схема частотно–регулируемого асинхронного электропривода..... | 48 |
| 4.2 Имитационная модель силового канала электропривода | 49 |
| 4.3 Исследование переходных процессов в асинхронном электроприводе с законом регулирования скорости | 54 |
| 5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ..... | 58 |
| 5.1 SWOT – анализ работы погружного электродвигателя | 58 |
| 5.2 Организация работ технического проекта..... | 61 |
| 5.2.1 Структура работ в рамках технического проектирования..... | 61 |
| 5.2.2 Определение трудоемкости выполнения ТП | 63 |
| 5.2.3 Разработка графика проведения технического проекта..... | 64 |
| 5.3 Составление сметы затрат на разработку ТП..... | 65 |
| 5.3.1 Полная заработная плата исполнителей | 67 |
| 5.3.2 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) | 68 |
| 5.4 Формирование сметы проекта | 69 |
| 5.5 Определение ресурсоэффективности проекта | 69 |
| 6.СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ | 72 |
| 6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности | 72 |
| 6.2 Производственная безопасность..... | 74 |
| 6.2.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды | 75 |
| 6.2.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды..... | 80 |
| 6.3. Экологическая безопасность..... | 82 |

| | |
|---|----|
| 6.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях..... | 83 |
| Заключение | 86 |
| Список использованных источников | 87 |

ВВЕДЕНИЕ

Использование нефтяных скважин и добыча нефти с помощью установок электроцентробежных насосов (УЭЦН) наиболее популярная технология на российском рынке нефтедобычи. При помощи установок электроцентробежных насосов в Западной Сибири добывается наибольшее количество нефти и поэтому на сегодняшний день ведутся работы и мероприятия по повышению энергоэффективности оборудования. Основным показателем это уменьшение потребления количества энергии за счет увеличения энергетических показателей комплексов, к которым относится как оптимизация режимов работы, модернизация оборудования и грамотный ее подбор.

Одними из главных задач в сфере электроснабжения являются повышение качества электроэнергии и подбор совместимого оборудования подключенного к одной электрической сети. Колоссальные работы ведутся в этом направлении с целью разработки и усовершенствования электротехнического оборудования, которое улучшит электросбережение и повысит энергоэффективность. При грамотном подборе УЭЦН имеется возможность подстраиваться под любые скважинные параметры и формировать различные условия добычи нефти, а также подбирать оборудование с максимальным КПД. Современными компаниями ведется разработка различных комплектаций оборудования установки электроцентробежного насоса, цель которых повысить КПД и их надежность.

Использование энергоэффективного оборудования дает ряд преимуществ для всей УЭЦН в целом, так как снижается энергопотребление во всех ее узлах, а следствие уменьшение на них нагрузки и их нагрева. Соответственно надежность и время эксплуатации увеличивается. Цель данной работы рассмотреть и проанализировать методы по повышению энергоэффективности установки электроцентробежного насоса.

Объектом изучения является регулируемый электропривод погружного электроцентробежного насоса.

В выпускной квалификационной работе в технологическом разделе

рассмотрена технология добычи нефти с помощью погружных электроцентробежных насосов, произведен расчет мощности и выбор погружного электродвигателя типа. Изложено обоснование использования регулируемого электропривода погружного насоса и выбран частотный способ регулирования. Для реализации этого способа подобран статический преобразователь частоты с промежуточным звеном постоянного тока. В расчетной части рассчитаны и построены рабочие и механические характеристики погружного электродвигателя.

Преимуществом УЭЦН является легкое обслуживание, т.к. на поверхности расположены только трансформатор и станции управления. Отличие УЭЦН это широкий диапазон рабочих характеристик, как по расходу, так и по напору, низкая металлоемкость, высокий КПД, возможность откачки немалым межремонтным периодом и большим количеством жидкости. Работа УЭЦН легко поддается телеуправлению и автоматизации. Исследование скважины по эксплуатации УЭЦН становится легче.

В выпускной квалификационной работе внимание уделяется частотному регулированию скорости вращения ПЭД. Применение частотно-регулируемого электропривода может дать значительные технические и экономические преимущества насосов, которые используются для поддержки пластового давления, технологических установок добычи нефти и другие. Для электропривода ЭЦН необходимым требованием является регулирование скорости с постоянством мощности на валу электродвигателя. Частотное регулирование обеспечивает такие возможности, как осуществление широкого, плавного и экономичного регулирования скорости ПЭД. Введение частотного регулирования электропривода помогает повысить лучшую работу систем и оборудования и надежность качества производимой продукции и предоставляемых услуг. Применение регулируемого электропривода значительно уменьшает износ оборудования и дает возможность экономить энергию и ресурсы. Так же значимый факт - это автоматизация режима работы.

1. ВНЕДРЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

1.1 Энергоэффективные установки электроцентробежных насосов для добычи нефти

Повышение энергоэффективности деятельности предприятий по нефтедобычи реализуется посредством организационно – управленческих и технических мероприятий. Наряду с этим вопросы развития электротехнических комплексов захватывают достаточно значимое место, которые используются в технологической структуре нефтедобычи.

Действия по улучшению электротехнического комплекса (ЭТК) способствуют экономии электричества за счет роста энергетических показателей комплексов, к которым относятся: улучшения оборудования; оптимизация режимов работы и функциональных характеристик, за счёт этого улучшаются надежность и долговечность, а также добычные возможности скважины.

Для начала, необходимо обратить внимание на ЭТК с большим потреблением электроэнергии. К этим комплексам относятся механизированные установки по добыче нефти, в нашем случае будет исследоваться установка с электроцентробежным насосом.

В последнее время удалось добиться существенных успехов в создании оборудования для нефтегазовой отрасли – выросла надежность и производительность, упростились эксплуатационные условия.

Развитие информационных технологий помогло созданию эффективных продуктов программного обеспечения. Однако нынешний подбор оборудования с увеличенным качеством не способен гарантировать лучшего функционирования ЭТК из-за изменчивости эксплуатационных условий и погрешности исходных данных. Поэтому это обстоятельство побуждает к необходимости регулирования производительности комплексов для улучшения технологического режима.

Результаты исследования отечественных ученых позволяют выявить

весьма положительные тенденции в осуществлении разработок.

Важнейший факт, на который хочется обратить внимание, ведение учета изменения производительности насосных установок в ближайшее время. Данный учет дает возможность проводить экономическое обоснование, составлять график модернизации для того, чтобы обеспечить минимальные затраты сети. Имея при себе график на следующие 5 - 10 лет, зная характеристики сети, можно прогнозировать все рабочие точки насосов. Типоразмер на объекте насоса может оказаться лишним, для требуемых напоров и подачи.

С учетом плана изменения можно требовать замену другого насоса и снижения его номинальной подачи, снижения напора с помощью уменьшения количества числа ступеней. Без этого планирования насос сможет проработать эффективно всего 1 - 2 года. Максимального эффекта от повышения можно добиться с помощью перехода от разовых мероприятий к комплексной программе, рассчитанной на период от 5 - 10 лет.

Современные энергоэффективные установки (ЭЭ) электроцентробежных насосов (УЭЦН) позволяют уменьшить электропотребление. При этом в структуре энергозатрат подъем жидкости из скважин составляет 55- 65%. Казалось бы, внедрение ЭЭ УЭЦН позволило бы компаниям выполнить требования программ энергосбережения и добиться реальной экономии энергии на производстве. Тем не менее, не все так просто. [1]

В России же отмечается недостаточность внедренных стимулов и механизмов по повышению энергоэффективности, которые не способны преодолеть сомнения нефтяных компаний по поводу надежности и относительной дороговизны ЭЭ УЭЦН. Как результат, внедрение энергоэффективного оборудования в нефтедобыче носит точечный характер, связанный с необходимостью смены устаревшего оборудования.



Рисунок 1.1 – Результаты эксплуатации энергоэффективных установок электроцентробежных насосов



Рисунок 1.2 – Сравнение стоимости владения в течении двух лет энергоэффективной и серийной установки электроцентробежного насоса

Согласно информации производителей, в настоящее время основной заказчик ЭЭ УЭЦН – иностранные компании. Так, 85% оборудования ЗАО «Новомет - Пермь» уходит за границу, в частности в Колумбию и Египет. Связано это с другим подходом к подготовке месторождений в труднодоступных регионах (тропические леса, пустыни), чем в РФ. Расчёты экономистов для местных условий показывают, что экономичнее в эти районы не тянуть в ЛЭП, а запустить передвижные электрогенераторы. При данных условиях всегда есть недостаток мощности. Цена кВт·часа с правильным учетом капитальных вложений получается намного больше.

В РФ же замечен недостаток внедренных механизмов и стимулов по увеличению энергоэффективности, которые не способны преодолеть сомнения нефтяных компаний по поводу надежности и относительной высокой цены ЭЭ УЭЦН. В итоге, применение энергоэффективного оборудования в нефтедобыче носит узконаправленный характер, который связан с необходимостью смены устарелого оборудования или проведением опытно-промысловых испытаний.[1]

В целом выгоды от применения ЭЭ УЭЦН заключаются в уменьшении монтажной длины насоса и в снижении затрат на электроэнергию при добыче скважинной жидкости. Эффект достигается, в том числе, за счет применения вентильного привода УЭЦН с повышенным номинальным напряжением и – как следствие – со снижением потерь в погружном кабеле. Но при использовании такого оборудования появляется и ряд недостатков, таких как необходимость значительных затрат на переоснащение фонда скважин кабельными линиями, отвечающими требованиям безопасности при эксплуатации погружных установок мощностью до 5 кВт; увеличение затрат на приобретение наземного оборудования, станций управления и трансформаторов нужной мощности и с напряжением вторичной обмотки до 5 кВт [1].

1.2 Прогнозирование энергоэффективности установок электроцентробежного насоса

Одним из условий эффективности добычи нефти УЭЦН это величина удельного расхода энергии. Можно привести пример: на тонну добытой продукции. Таким образом, добыча пластовой жидкости состоит в передаче ей энергии с целью для транспортировки из пласта на поверхность, то в таком случае энергоэффективностью добычи будет отношение энергии, которая необходима для подъема жидкости к затраченной энергии, а именно КПД УЭЦН.

В большинстве случаев, энергия тратится на работу насоса (ЭЦН) и ПЭД, однако потери энергии в предвключенных устройствах, в кабеле, трансформаторе и других, тоже значимы, и их нужно принимать в общем балансе энергии. Вдобавок, имеет значение взаимное влияние элементов УЭЦН. Поэтому, при росте потребления энергии, например, ЭЦН, растут потери в кабеле, потребление ПЭД, трансформаторы и другие.

Современная УЭЦН представляет собой линейную цепь последовательно соединенных элементов: кабельной линии, ПЭД, станции управления, повышающего трансформатора, ПЭД, предвключенных устройств (газосепаратора, сепаратора и другие) и ЭЦН [1].

2. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СХЕМ И КОНСТРУКЦИЙ

2.1 Основные способы добычи нефти. Их преимущества и недостатки

В соответствии с изменением условий добычи нефти меняется степень популярности различных способов её добычи. Наибольшая доля добываемой нефти приходится на установки электроцентробежных насосов. В условиях интенсификации нефтедобычи эта тенденция непрерывно увеличивается.

При насосном способе эксплуатации скважин подъем нефти на поверхность осуществляется штанговыми и бесштанговыми насосами.

Установки штанговых скважинных насосов (ШСН) являются очень популярными и традиционными видами механизированной добычи нефти. ШСН хорошо подходят для работы в условиях мелкого дебита скважин, однако, это спецоборудование весьма заметно к единому строю осложняющих условий, из числа каковых одними более важными являются наличие механических примесей, кривизна ствола скважины и другие.

Винтовые насосы в силу полезных отличительных черт более результативны при добыче вязкой нефти, а также при присутствии в нефти песка и попутного газа.

Установки погружных электроцентробежных насосов (УЭЦН) предназначены для добычи из нефтяных эксплуатационных скважин пластовой жидкости, состоящей из водонефтяной эмульсии и попутного газа. В сфере больших подач (свыше $80 \text{ м}^3/\text{сут}$) УЭЦН имеют самый большой КПД среди всех механизированных способов добычи нефти. Преимущество УЭЦН это более высокий, чем у ШСН, межремонтный период. Работа установок ЭЦН довольно свободно поддается телеуправлению и автоматизации. При эксплуатации УЭЦН легче процессы исследования скважины. Также превосходством УЭЦН считается обычное обслуживание, так как на поверхности располагаются только лишь станции управления, трансформатор и при присут-

ствие потребности, установка дозировочная электроприводная (УДЭ), не требующие непрерывного ухода.

При крупных отборах жидкости из скважины УЭЦН более экономичнее и менее сложны в обслуживании, по сравнению с насосами иных видов. Поэтому УЭЦН отводится основная роль в добычи нефти, особенно на средних и последних стадиях разработки нефтяных месторождений. И совокупный объем нефти, добываемый УЭЦН, с каждым годом будет только расти.

2.2 Краткая характеристика скважин

Бурение скважин на месторождениях выполнялось кустовым способом, все скважины наклонно-направленного направления. Угол наклона скважины до 45. Средняя глубина скважины до 3000 метров. Насос опускается на глубину, которая колеблется приблизительно от 1200 до 1700 метров.

Динамический уровень:

- устье – самый маленький;
- > 1000 метров – самый большой.

В пределах от 0 до 800 метров динамический уровень. [3].

2.3 Состав и комплектность УЭЦН

Установка погружного электроцентробежного насоса для добычи нефти складывается из наземного и подземного оборудования. Принципиальная схема УЭЦН представлена на рисунке 1.3. В погружную часть входит электрооборудование: погружной электродвигатель с гидрозащитой, сливной клапан, кабельная линия, насос с газосепаратором, обратный клапан, колонна насосно-компрессорных труб (НКТ).

К наземной части причисляются: распределительная коробка, станция управления, устьевая арматура повышающий трансформатор.

В системе применяется электродвигатель погружной, асинхронный, трехфазный, заполненный маслом с короткозамкнутым ротором обычного исполнения и коррозионностойкого исполнения ПЭДУ (ТУ 16-652-029-86). Климатическое исполнение – В, категория размещения – 5 по ГОСТ 15150 – 69. В основе двигателя есть клапан, который необходим для слива и закачки масла, с целью для очистки от механических примесей.

Гидрозащита состоит из протектора и компенсатора, с целью для защиты от попадания внутрь воды.

Компенсатор с резиновой диафрагмой. Протектор двухкамерный с сальником.

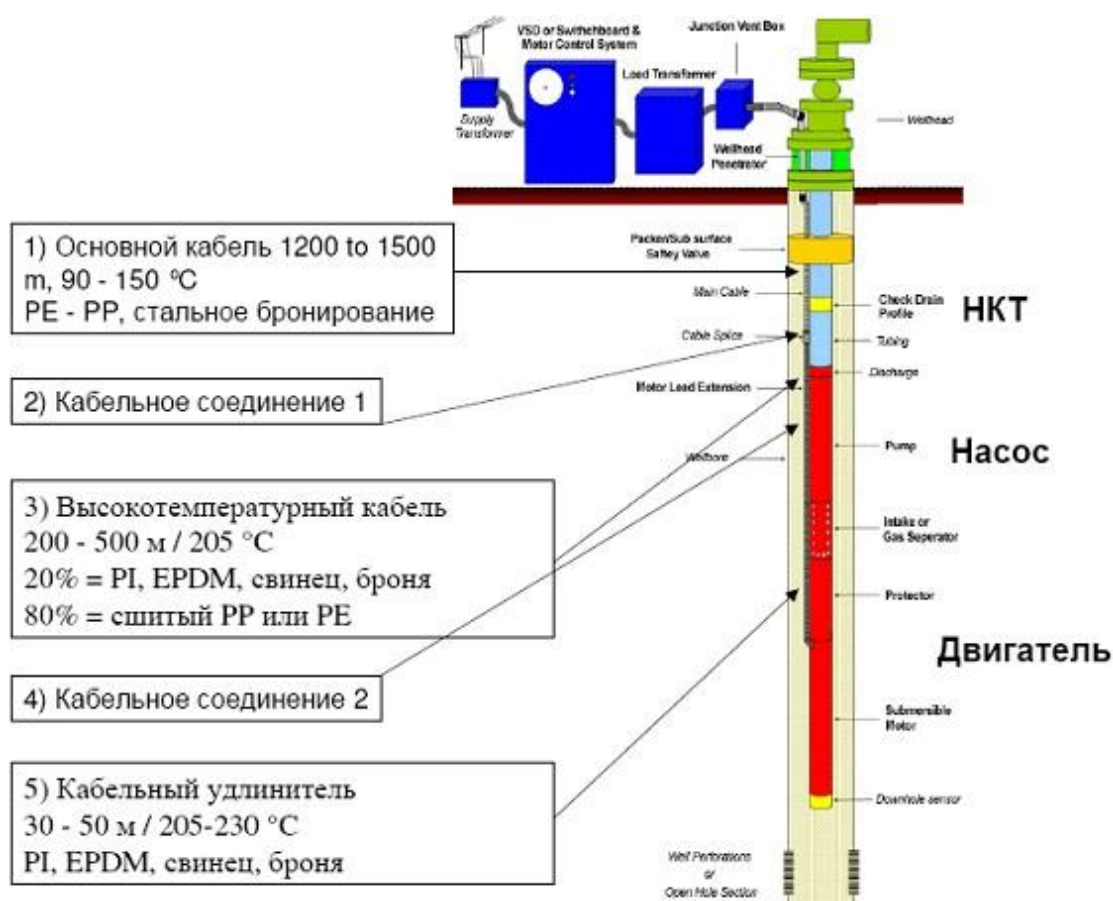


Рисунок 1.3 - Установка электропривода центробежного насоса

Применяется кабель, обладающий 3 жилы, броню, полиэтиленовую

изоляцию. Кабель намотан на барабан, в жиле существует прослойка изоляции, а кроме того подушки из прорезиненной брони и материи. Жилы уложены параллельно в ряд.

Система УЭЦНК, УЭЦНМ с насосом, которая имеет вал и ступени, выполнены из коррозионностойкого материала, и УЭЦНИ с насосом, который имеет рабочее колесо, которое изготовлено из резинометаллические подшипники и пластмассы аналогична конструкция установок УЭЦН.

Присутствие значительного газового фактора используются насосные модули – газосепараторы, которые предназначены для снижения содержания свободного газа на приеме насоса.

2.4 Технические характеристики погружного электродвигателя

Приводом ПЦН служит заполненный специализированным маслом асинхронный двигатель, который работает от трехфазного переменного тока с короткозамкнутым ротором вертикального исполнения типа ПЭД. Электродвигатели обладают диаметрами корпусов 103, 117, 123, 130, 138 мм. Диаметры электродвигателей урезаны, и при потребности больших мощностей двигатель обладает значительной длиной, а при необходимости в определенных вариантах сделан секционным. Электродвигатель реализует свою работу, погруженным в жидкость и нередко под большим гидростатическим давлением, герметичность это условие очень надежной работы.

ПЭД заполняется специальным высокой диэлектрической прочности, маловязким маслом, которое предназначено с целью для смазки деталей и охлаждения. [2].

ПЭД состоит из основания, статора, головки, ротора. Из стальной трубы производится корпус статора, на концах предусмотрена резьба с целью подсоединения основания двигателя и головки. Из немагнитной и активной

шихтованной жёсткости собирается магнитопровод статора, в которых имеются пазы, где расположена обмотка. Обмотка статора имеет следующее выполнение и может являться, двухслойной, петлевой, однослойной и стержневой.

2.5 Основные технические данные кабельной линии

По назначению в кабельную линию входят:

КППБПС либо КПКБ – используется как основной кабель.

Кабели марки ККБП (плоский).

Муфты кабельного ввода бывают круглые или плоские.

КПКБ – медный, из одного или многопроволочных жил, изоляция в два слоя используется полиэтилен высокой прочности и скрученных между собой, подушка, броня.

ККБП и КППБПС находятся в общей шланговой оболочке, жила медная однопроволочная или многопроволочная, изолированная полиэтиленом высокой плотности и уложенных они в одной плоскости, подушка, броня.

КППБПС с отдельно отшлангованными жилами, медные одно- и многопроволочные жилы, изолированные в два слоя полиэтиленом высокого давления и уложенных в одной плоскости.

КПКБ имеет:

Рабочее напряжение, В – 3300

Допустимое давление пластовой жидкости, МПа – 19,6 Допустимый газовый фактор, м/т – 180

Кабель марки ККБП имеет:

Рабочее напряжение, В – 2500

Допустимое давление пластовой жидкости, МПа – 19,6 Допустимый газовый фактор, м/т – 180

Кабель марки КПКБ и ККБП имеет допустимые температуры окружающей среды от 60 до 45 °С воздуха, 90 °С – пластовой жидкости. [6].

2.6 Структура системы управления с частотным преобразователем

На сегодняшний день одним – единственным устройством, которое позволяет регулировать частоту вращения асинхронного двигателя считается ПЧ. Преобразователь частоты применяют с целью регулировки частоты вращения электродвигателей переменного тока, которые приводят в движение разные трудовые машины (вентиляторы, насосы и другие). Регулирование частоты электродвигателя ЭЦН предоставляет возможность вносить поправки в эффективность насоса. При этом регулирование делается весьма размерно, так как современные ПЧ дают возможность поправлять частоту с дискретностью 0,1 Гц. Кроме регулирования частоты применение ПЧ дает возможность:

Реализовывать остановку почти в отсутствии превышения номинального тока при разгоне и мягкий разбег.

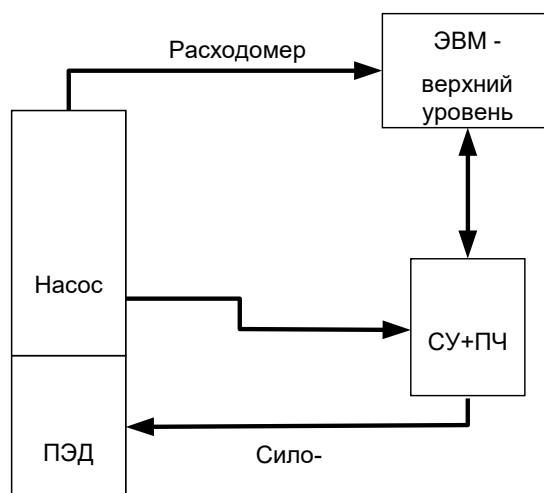


Рисунок 2.1 - Структура системы управления с частотным приводом

2.7 Особенности применения ПЧ в системе «ПЧ – трансформатор - погружной двигатель»

При работе ПЧ в системе «ПЧ - повышающий трансформатор - погружной электродвигатель» появляется несколько трудностей:

Воздействие на выходной трансформатор: выходной трансформатор также воздействию деятельности работы ПЧ. В трансформаторе возникает шум при его работе, и возрастают потери в стали.

Воздействие на входной трансформатор: бесспорно, результатом деятельности преобразователя частоты считается увеличения потерь в обмотках и стали, а, таким образом, и усиленное нагревание трансформатора, из-за этого появляется шум

В кабелях, объединяющих повышающий трансформатор с выходом преобразователя УЭЦН к тому же увеличивает вероятность пробоя изоляции из-за быстрого нарастания усиления в импульсах, которые создаёт инвертор.

Имеются способы снижения отрицательного воздействия ПЧ в УЭЦН:

Использование ПЧ с высокой частотой ШИМ даёт возможность усовершенствовать синусоидальность выходного напряжения, то что приводит к: Использование LC-фильтров делает лучше форму синусоиды и существенно уменьшает величину вершин напряжения, что означает:

- Увеличению момента и КПД двигателя
- Снижение нагрева двигателя, трансформатора и кабеля
- Тормозит изнашивание изоляции

3. РАСЧЁТНАЯ ЧАСТЬ

3.1 Выбор двигателя

Мощность двигателя выбираем по формуле [5]:

$$P_{\text{эд}} = \frac{g \cdot Q \cdot H}{\eta_n \cdot 3600}, \quad (3.1)$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; $Q = 6 \text{ м}^3/\text{с}$ – необходимый расход системы; $H = 1800 \text{ м}$ – нужный напор; $\eta_n = 0,795$ – КПД насоса.

Вычисляем мощность:

$$P_{\text{эд}} = \frac{9,81 \cdot 6 \cdot 1800}{0,795 \cdot 3600} = 37 \text{ кВт},$$

Мощность приводного электродвигателя делают выбор на основе приведенной выше формулы, однако, с учетом вероятного отклонения режима работы насоса от его номинального режима. Для того чтобы не перегружать двигатель при любых режимах, его мощность выбирают с запасом.

$$P_d = k \cdot P_n, \quad (3.2)$$

где k – коэффициент запаса, выбираем $k = 1,08$, т.к. электродвигатель считается приводом насоса, работающий при постоянной нагрузке в продолжительном режиме, и обладает редкие пуски при закрытой задвижке.

Высчитаем мощность приводного электродвигателя:

$$P_d = 1,08 \cdot 37 = 39,96 \text{ кВт};$$

В соответствие с ISO 5199 гарантируется запас по мощности двигателя. По этой причине мощность двигателя должна быть не меньше 40 кВт. В таблице 3.1 предоставлены паспортные данные двигателя ПЭД 40-103. Работа электродвигателя в продолжительном режиме – S1.

Таблица 3.1 - Паспортные данные двигателя ПЭД 40-103

| Наименование | Значение |
|--------------------------------------|------------|
| Тип | ПЭД 40-103 |
| Номинальная мощности, кВт | 40 |
| Номинальное напряжения, В | 1000 |
| Номинальное фазное напряжение, В | 578 |
| Коэффициент мощности | 0,78 |
| Номинальная частота вращения, об/мин | 2745 |
| КПД, % | 72 |
| Кратность минимального момента | 0,9 |
| Кратность пускового тока | 7,2 |
| Кратность максимального момента | 3,2 |
| Кратность пускового момента | 2,5 |
| Коэффициент загрузки двигателя | 0,75 |

3.2 Выбор преобразователя частоты

Регуляторы частоты вращения предоставляют возможность перекачивать среду в более широком спектре диапазоне объемов, а к тому же реализовывать плавный контролируемый запуск двигателя при этом ограничивая пусковые токи. Это повышает надежность УЭЦН т.к. понижаются электрические нагрузки на кабели, а кроме того на обмотку при запуске электродвигателя. Система телеметрии предоставляет возможность поддержания динамического уровня в скважине.

РЧ вращения даёт возможность обеспечить постепенный управляемый плавный пуск асинхронного ПЭД при этом ограничив пусковой ток. Урегулирование частоты вращения вала ЭЦН даёт возможность в широких пределах изменять добывные возможности оборудования установок ЭЦН, к примеру, подача насоса пропорциональна частоте вращения вала, напор насоса зависит от частоты вращения в квадрате, мощность – в кубе ($Q = f(n)$, $H = f(n^2)$, $N = f(n^3)$).

Один из методов регулирования частот вращения ротора УЭЦН это изменение частоты питающего двигателя ток.

Оборудование которое способно обеспечить данный метод это станция управления с регулированием частоты вращения насосной установки «ЭЛЕКТОН». При использовании указанной станции управления есть возможность запуска насосной установки по задаваемой программе, возможность стабилизации выходного напряжения и запуск в толчковом и в ручном режиме.

При подборе ПЧ следует учитывать несколько отличительных черт, которые обусловлены физическими параметрами.

При подборе СУ следует учитывать параметры скважины и двигателя. Мощность преобразователя частоты и всей остальной силовой аппаратуры от глубины его расположения в скважине и зависит от мощности двигателя. Как правило, для номинальной работы преобразователь частоты предпочитают на типоразмер выше, чем мощность двигателя. В случае если ПЧ установить на двигатель большей мощности, чем сам преобразователь, то отсутствует гарантия, что привод запустится, и будет функционировать. У любого ПЧ имеются собственные внутренние защиты, которые не дают возможности функционировать приводу за границами критических параметров. ПЧ может выйти из строя, так как может запустить двигатель из-за этого он будет функционировать неустойчиво

Приняв во внимание ранее приведенные характерные черты ПЧ для питания обмоти статора АД КЗ выбирается из условий

$$I_{н.пч.} \geq I_{н.дв.}; U_{н.пч.} \geq U_{н.дв.}$$

то выбираем преобразователь частоты Электон-05 со следующими паспортными данными:

Таблица 3.2 - Характеристика Электон-05-3 60 (63)

| Наименование | Значение |
|---|---|
| Номинальное напряжение питания, В | 380 |
| Диапазон отклонения питающего напряжения от номинального, % | ±25 |
| Номинальный ток первичной силовой цепи, А | Не более 63 |
| Номинальная мощность преобразователя, кВт | 120 |
| Мощность подключаемого электродвигателя, кВт | 75 |
| Температурный диапазон | -60 ⁰ С...+40 ⁰ С |
| Степень защиты | IP43 |
| Схема управления | контроллер «Электон» |
| Диапазон изменения частоты, Гц | 0,5...60 |
| Габаритные размеры | 1735×700×600 |
| Масса, кг | 160 |

Преобразователь ПЧ-ТТПТ-ХХХ-380-50-1-УХЛ1 служит для регулировки частоты вращения асинхронного трех фазного электродвигателя с коротко - замкнутым ротором.

СУ имеет следующие режимы:

- а) разгон с заданным темпом обеспечивая плавный пуск
- б) автозапуск после потери питания;
- в); разгон электродвигателя по предельному (заданному) значению тока фаз;
- г) изменение частоты вращения в ручную с помощью встроенного пульта;
- д) плавная остановка электродвигателя;
- е) изменение чередования фаз на выходе (реверс);
- ж) остановка электродвигателя по предельному значению напряжения в звене постоянного тока
- з) автоматическая поддержка значений технологических параметров;

- и) компенсацию колебаний скольжения при работе АД на механизм с большими моментами инерции;
- и) компенсацию колебаний скольжения при работе АД на механизм с большими моментами инерции;
- к) режим автоматического управления технологическим параметром в зависимости от времени суток;
- л) работа под управлением по каналу RS-232;

3.3 Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя по паспортным данным

Синхронная угловая скорость вращения двигателя:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_{\text{в}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 2745}{30} = 287,45 \text{ рад / с.} \quad (3.3)$$

Ном. частота вращения двигателя:

$$n_{\text{дв.н}} = (1 - s_{\text{н}}) \cdot n_{\text{н}} = (1 - 0,085) \cdot 2745 = 2512 \text{ об / мин} \quad (3.4)$$

Ном. угловая скорость:

$$\omega_{\text{дв.н}} = (1 - s_{\text{н}}) \cdot \omega_{\text{н}} = (1 - 0,085) \cdot 287,45 = 263,017 \text{ рад / с.} \quad (3.5)$$

Ном. момент двигателя:

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{40000}{263,017} = 152,082 \text{ Н·м} \quad (3.6)$$

С целью расчета механических и электромеханических характеристик асинхронного двигателя следует воспользоваться его математической моделью, предоставленную различными схемами замещения. Более обычной и комфортной с целью расчетов асинхронного двигателя является Т-образная схема замещения [6].

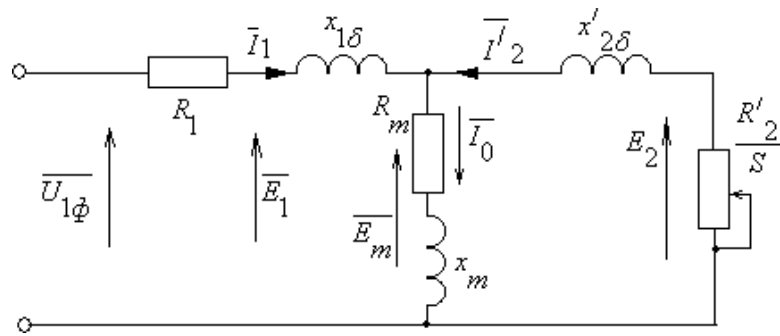


Рисунок 3.2 – Схема замещения асинхронного двигателя

Ключевые уравнения асинхронного двигателя, соответствующие данной схеме:

$$\begin{aligned}\bar{U}_{1\phi} - \bar{E}_m - j \cdot X_1 \cdot \bar{I}_1 - R_1 \cdot \bar{I}_1 &= 0 \\ \bar{E}_m + j \cdot X_2' \cdot \bar{I}_2' - R_2' \cdot \bar{I}_2' / s &= 0 \\ \bar{I}_1 + \bar{I}_2' - \bar{I}_0 &= 0\end{aligned}\quad (3.7)$$

Векторная диаграмма напряжений, токов, ЭДС изображена на рисунке 3.3.

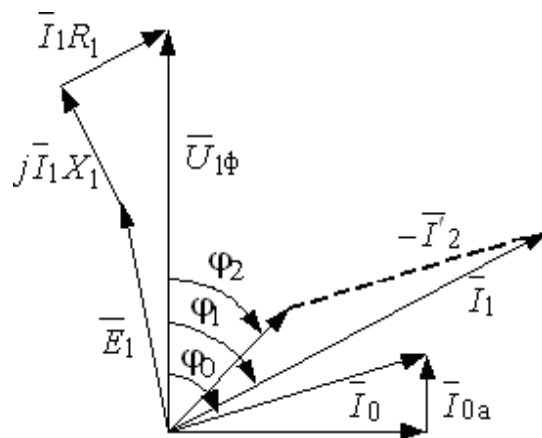


Рисунок 3.3 Векторная диаграмма асинхронной машины

Ном. ток статора двигателя

$$I_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_{p^*} \cdot \eta_{\text{н}}} = \frac{40000}{3 \cdot 578 \cdot 0,78 \cdot 0,72} = 41,076 \text{ A.} \quad (3.8)$$

Тогда ток статора двигателя при частичной нагрузке равен:

$$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_H}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_{p_*} \cdot \eta_H} = \frac{0,75 \cdot 40000}{3 \cdot 578 \cdot 0,772 \cdot 0,72} = 31,118 \text{ A.} \quad (3.9)$$

Коэф. мощности при частичной загрузке:

$$\cos \varphi_{p_*} = 0,99 \cdot \cos \varphi_H = 0,99 \cdot 0,78 = 0,772 \text{ о.е.} \quad (3.10)$$

Определяется исходя из рис. 3.4.

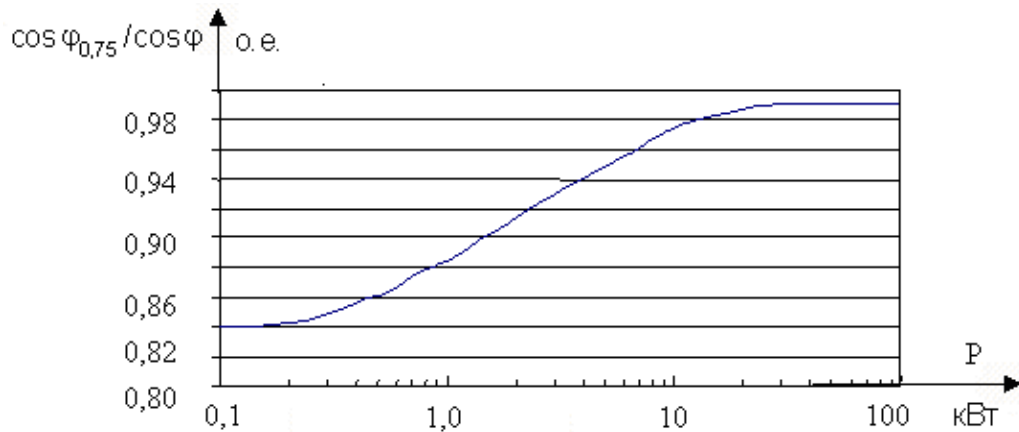


Рисунок 3.4 Зависимость $\cos \varphi_{0,75} / \cos \varphi_H$ от мощности асинхронного двигателя

Коэф. загрузки двигателя принимаем $p_* = 0.75$ из-за ранее отличительных черт проектирования асинхронных двигателей.

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left[\frac{p_* \cdot I_{1H} (1 - s_H)}{1 - p_* \cdot s_H} \right]^2}{1 - \left[\frac{p_* \cdot (1 - s_H)}{1 - p_* \cdot s_H} \right]^2}} = \quad (3.11)$$

$$= \sqrt{\frac{31,118^2 - \left[\frac{0,75 \cdot 41,076 \cdot (1 - 0,085)}{1 - 0,75 \cdot 0,085} \right]^2}{1 - \left[\frac{0,75 \cdot (1 - 0,085)}{1 - 0,75 \cdot 0,085} \right]^2}} = 11,562 \text{ A;}$$

Из формулы Клосса следует соотношение с целью расчета критического скольжения:

$$s_{кр} = s_H \cdot \frac{k_{max} + \sqrt{k_{max}^2 - [1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{max} - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{max} - 1)} =$$

$$= 0,085 \cdot \frac{3,2 + \sqrt{3,2^2 - [1 - 2 \cdot 0,085 \cdot 1 \cdot (3,2 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,085 \cdot 1 \cdot (3,2 - 1)} = 0,856 \text{ о.е.}, \quad (3.12)$$

где в первом приближении коэффициент $\beta = 1$.

Предварительно с целью расчета индуктивных и активных сопротивлений обмоток ротора и статора определяются следующие коэффициенты:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{11,562}{2 \cdot 7,2 \cdot 41,076} = 1,02; \quad (3.13)$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{max} \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 578^2 \cdot (1 - 0,085)}{2 \cdot 1,02 \cdot 3,2 \cdot 40000} = 3,514; \quad (3.14)$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя:

$$R_2' = \frac{A_1}{(\beta + 1/s_{кр}) \cdot C_1} = \frac{3,514}{\left(1 + \frac{1}{0,856}\right) \cdot 1,02} = 1,589 \text{ Ом}; \quad (3.15)$$

Активное сопротивление обмотки статора определяется по следующему выражению:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,02 \cdot 1,589 \cdot 1 = 1,62 \text{ Ом}; \quad (3.16)$$

Параметр γ , который служит для определения сопротивления к.з.:

$$\gamma = \sqrt{(1/s_{кр}^2) - \beta^2} = \sqrt{(1/0,856^2) - 1^2} = 0,605; \quad (3.17)$$

$$X_{кH} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 0,605 \cdot 1,02 \cdot 1,589 = 0,98 \text{ Ом}; \quad (3.18)$$

Поэтому, индуктивное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора, может быть рассчитано:

$$X_{2H}' = 0,58 \cdot X_{кH} / C_1 = 0,58 \cdot 0,98 / 1,02 = 0,558 \text{ Ом}; \quad (3.19)$$

Индуктивное сопротивление обмотки статора:

$$X_1 = 0,42 \cdot X_{\kappa} = 0,42 \cdot 0,98 = 0,412 \text{ Ом}; \quad (3.20)$$

Индуктивное сопротивление цепи намагничивания определяется через значение ЭДС обмотки статора:

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1H} \cdot \cos \varphi_{1H} - R_1 \cdot I_{1H})^2 + (U_{1H} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{1H}} - X_1 \cdot I_{1H})^2} = \\ &= \sqrt{(578 \cdot 0,78 - 1,62 \cdot 41,076)^2 + (578 \cdot \sqrt{1 - 0,78^2} - 0,412 \cdot 41,076)^2} = 516,297 \text{ В}. \end{aligned}$$

Индуктивное сопротивление намагничивания:

$$X_m = \frac{E_1}{I_0} = \frac{516,297}{11,562} = 44,654 \text{ Ом} \quad (3.22)$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоками рассеяния:

$$L_{1\delta} = \frac{X_1}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,412}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0013 \text{ Гн} \quad (3.23)$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоками рассеяния:

$$L'_{2\delta} = \frac{X'_2}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,588}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0077 \text{ Гн} \quad (3.24)$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре, которая создаётся суммарным действием полюсов статора:

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{44,654}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,142 \text{ Гн} \quad (3.25)$$

Найденные параметры схемы замещения электродвигателя сведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Параметры схемы замещения электродвигателя

| $R_l, \text{Ом}$ | $X_{l\delta}, \text{Ом}$ | $L_{l\delta}, \text{Гн}$ | $X_{\mu}, \text{Ом}$ | $L_{\mu}, \text{Гн}$ | $R'_2, \text{Ом}$ | $X_{2\delta}, \text{Ом}$ | $L_{2\delta}, \text{Гн}$ | $X_{\kappa H}, \text{Ом}$ |
|------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 1,62 | 0,412 | 0,0013 | 44,654 | 0,142 | 1,589 | 0,588 | 0,0077 | 0,98 |

3.4 Расчет и построение естественной механической и электромеханической статических характеристик.

Рассчитываем механическую характеристику асинхронного электродвигателя по формуле:

$$M = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[\left(R_1 + R_2' \cdot s^{-1} \right)^2 + \left(X_{1\sigma} + X_{2\sigma}' \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 578^2 \cdot 1,589}{287,45 \cdot s \cdot \left[\left(1,62 + 1,589 \cdot s^{-1} \right)^2 + \left(0,412 + 0,558 \right)^2 \right]} \quad (3.26)$$

Механическая характеристика асинхронного электродвигателя изображена на рисунке 3.5. Она справедлива только в области номинальных скоростей.

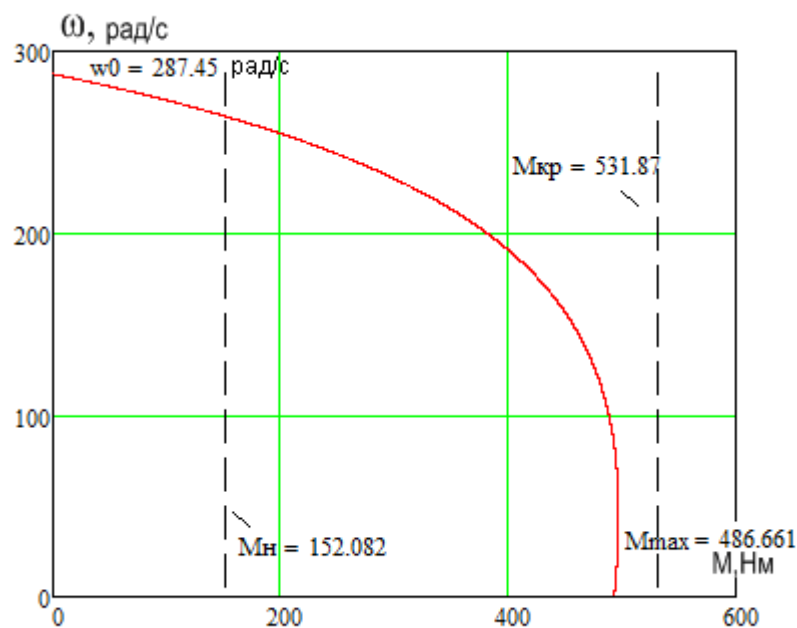


Рисунок 3.5 – Механическая характеристика асинхронного электродвигателя

Определим дополнительные параметры двигателя.

Момент критический двигательного режима:

$$M_{кр} = \frac{m \cdot U_{1ф}^2}{2 \cdot \omega_n \cdot C_1 \cdot \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_{\kappa}^2} \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 578^2}{2 \cdot 263,017 \cdot 1,02 \cdot \left[1,62 + \sqrt{1,62^2 + 0,98^2} \right]} = 531,87 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (3.27)$$

Критическое скольжение:

$$S_{\kappa} = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{\kappa}^2}} = \pm \frac{1,589}{\sqrt{1,62^2 + 0,98^2}} = \pm 0,839 \text{ о.е.}; \quad (3.28)$$

Номинальная скорость двигателя:

$$\omega_n = \omega_n (1 - s_n) = 263,017 \cdot (1 - 0,085) = 263,017 \text{ рад/с}; \quad (3.29)$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{40000}{263,017} = 152,082 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (3.30)$$

Максимальный момент двигателя:

$$M_{max} = k_{max} \cdot M_n = 3,2 \cdot 152,082 = 486,661 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (3.31)$$

Минимальный момент двигателя:

$$M_{min} = k_{min} \cdot M_n = 0,9 \cdot 152,082 = 136,873 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (3.32)$$

Найденные координаты точек с максимальным, номинальным и минимальным моментом нанесены на рассчитанный график естественной механической характеристики асинхронного двигателя.

Вывод: исследование расчетов демонстрирует, что контрольные точки, которые обнаружены в соответствии с каталожными данными двигателя, схожи с вычисленным графиком механической характеристики асинхронного двигателя, по этой причине способ определения параметров схемы замещения асинхронного двигателя по его каталожным данным можно рассматривать оптимальной.

Определим зависимость тока ротора I_2' , приведенного к обмотке статора, от скольжения s :

$$I_2(s) = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2)^2}} = \frac{578}{\sqrt{\left(1,62 + \frac{1,589}{s}\right)^2 + (0,412 + 0,558)^2}} \text{ A}; \quad (3.32)$$

Электромеханические характеристики двигателя предоставлены на рисунке 3.6.

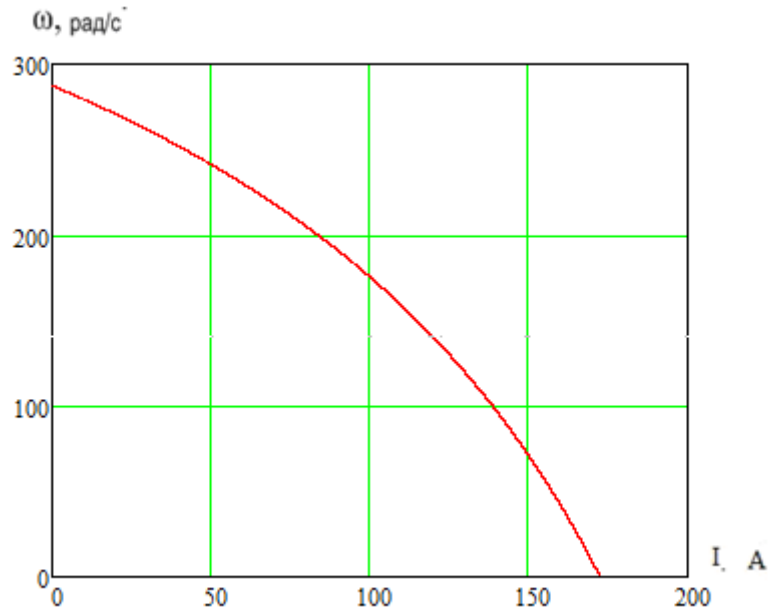


Рисунок 3.6 – График естественной электромеханической характеристики

$$I_2 = f(s)$$

Для того, чтобы построить электромеханическую характеристику тока обмотки статора используем следующее выражение:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2(\omega) \cdot \sin \varphi_{2H}} \quad (3.33)$$

$$I_1(s) = \sqrt{11,562^2 + I_2(\omega)^2 + 2 \cdot 11,562 \cdot I_2(\omega) \cdot \sin \varphi_{2H}}$$

$$\text{где } \sin \varphi_{2H} = \frac{X_k}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2}{s}\right)^2 + X_k^2}} = \frac{0,98}{\sqrt{\left(1,62 + \frac{1,589}{s}\right)^2 + 0,98^2}}$$

Электромеханические характеристики двигателя предоставлены на рисунке 3.7.

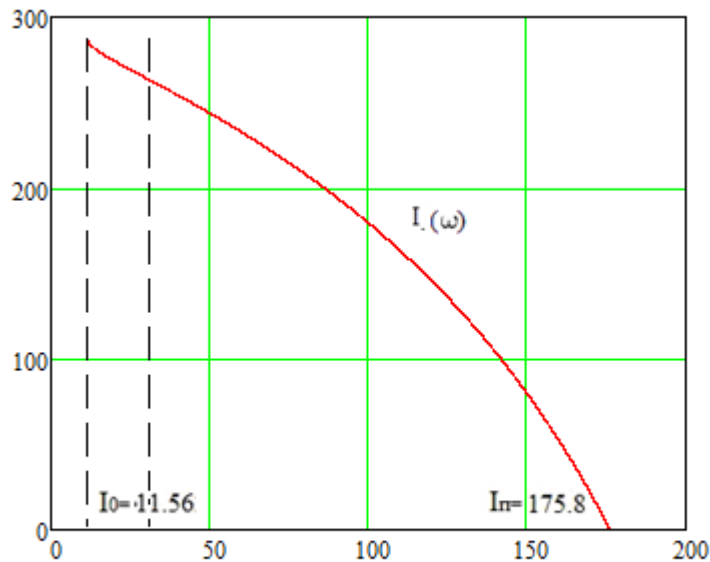


Рисунок 3.7– График естественной электромеханической характеристики $I_1 = f(\omega)$.

Определим номинальный ток статора асинхронного двигателя $I_{1н}$ при номинальном скольжении $s_n = 0,085$ в соответствии с электромеханической характеристикой. [5].

Ном. ток ротора двигателя при номинальном скольжении:

$$\begin{aligned}
 I_2'(s) &= \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2}} = \\
 &= \frac{758}{\sqrt{\left(1,62 + \frac{1,589}{0,085}\right)^2 + (0,412 + 0,558)^2}} = 28,422 \text{ А};
 \end{aligned} \tag{3.34}$$

Ном. ток статора двигателя:

$$\begin{aligned}
 I_1(s) &= \sqrt{I_0^2 + I_2'(s)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_{2н}} \\
 &= \sqrt{11,562^2 + 28,422^2 + 2 \cdot 11,562 \cdot 28,422 \cdot 0,048} = 31,196 \text{ А}.
 \end{aligned} \tag{3.35}$$

Вывод: значение номинального тока статора асинхронного двигателя,

определенное по его электромеханической характеристике, почти сходится со значением, которое рассчитано по паспортным данным. Это доказывает точность методики определения параметров схемы замещения асинхронного двигателя по его паспортным данным.

Амплитудное значение ном. фазового напряжения:

$$U = \sqrt{2} \cdot U_{1н} = \sqrt{2} \cdot 578 = 817,41 \text{ В} \quad (3.36)$$

Амплитудное значение ном. фазного тока:

$$I = \sqrt{2} \cdot I_{1н} = \sqrt{2} \cdot 41,076 = 58,09 \text{ А} \quad (3.37)$$

Ном. угловая частота питающего напряжения двигателя:

$$\omega_{1н} = 2 \cdot \pi \cdot f_{1н} = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ рад/с} \quad (3.38)$$

Полные индуктивности обмоток ротора и статора:

$$L_s = L_{s\sigma} + L_m = 1,311 \cdot 10^{-3} + 0,142 = 0,143 \text{ Гн} \quad (3.39)$$

$$L_r = L_{r\sigma} + L_m = 1,775 \cdot 10^{-3} + 0,106 = 0,144 \text{ Гн} \quad (3.40)$$

Определим безразмерные коэффициенты:

$$L_e = L_s - \frac{L_m^2}{L_r} = 0,143 - \frac{(0,142)^2}{0,144} = 3,064 \cdot 10^{-3} \quad (3.41)$$

$$k_r = \frac{L_m}{L_r} = \frac{0,142}{0,144} = 0,988 \quad (3.42)$$

$$R_e = R_s + k_r^2 \cdot R_r = 1,62 + 0,988^2 \cdot 1,589 = 3,17 \quad (3.43)$$

$$A_r = \frac{R_r}{L_r} = \frac{1,589}{0,144} = 11,041 \quad (3.44)$$

$$T_e = \frac{L_e}{R_e} = \frac{3,064 \cdot 10^{-3}}{3,17} = 9,666 \cdot 10^{-4} \quad (3.45)$$

3.5 Структурная схема силового канала электропривода

Математическое описание силового канала системы преобразователь - асинхронный электродвигатель, в неподвижной системе координат α, β , ориентированной по вектору потока сцепления ротора.

$$\begin{cases} U_{1\alpha} = R_3 \cdot (T_3 p + 1) \cdot I_{1\alpha} - \frac{R'_2 \cdot L_\mu}{L_2^2} \cdot \psi_{2\alpha} - \frac{L_\mu}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\beta}; \\ U_{1\beta} = R_3 \cdot (T_3 p + 1) \cdot I_{1\beta} - \frac{R'_2 \cdot L_\mu}{L_2^2} \cdot \psi_{2\beta} - \frac{L_\mu}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\alpha}; \\ 0 = (T_2 p + 1) \cdot \psi_{2\alpha} - L_\mu \cdot I_{1\alpha} + \frac{L_2}{R'_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\beta}; \\ 0 = (T_2 p + 1) \cdot \psi_{2\beta} - L_\mu \cdot I_{1\beta} + \frac{L_2}{R'_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\alpha}; \\ M_{\text{эм}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_\mu}{L_2} \cdot z_p \cdot (\psi_{2\alpha} \cdot I_{1\beta} - \psi_{2\beta} \cdot I_{1\alpha}); \\ \omega = \frac{1}{Jp} \cdot (M_{\text{эм}} - M_c), \end{cases} \quad (3.46)$$

На основе данной системы уравнений была составлена структурная схема на рисунке 3.7[8].

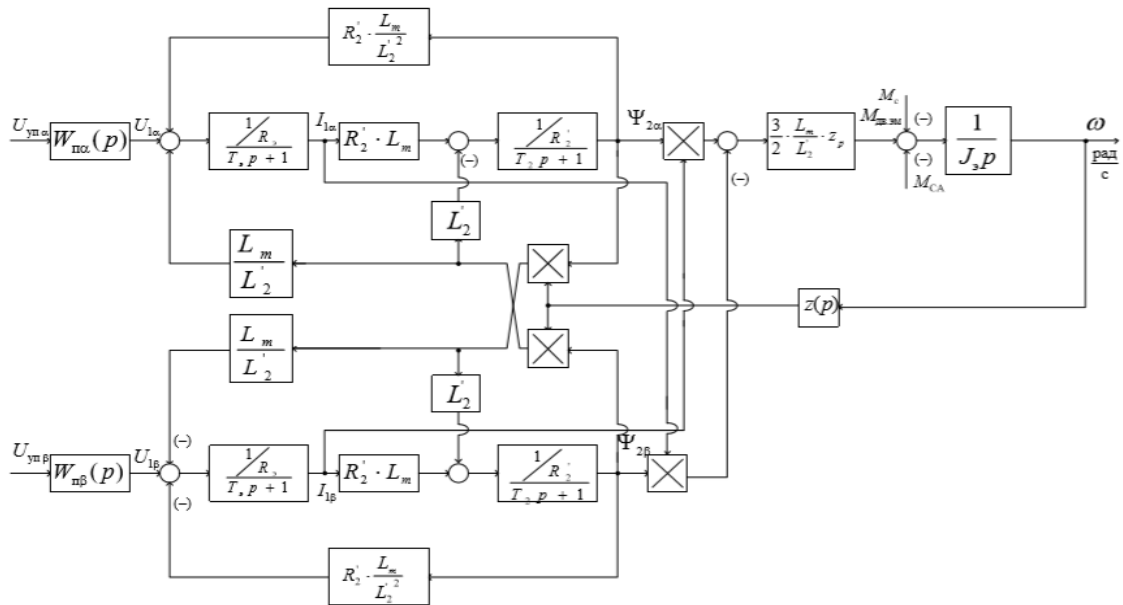


Рисунок 3.8 Структурная схема силового канала системы преобразователь - асинхронный электродвигатель в неподвижной двухфазной с системе координат

По структурной схеме рисунка 3.7 в пакете MATLAB разработана имитационная модель силового канала системы преобразователь - асинхронный электродвигатель в неподвижной системе координат [8], представленная на рисунке 3.8.

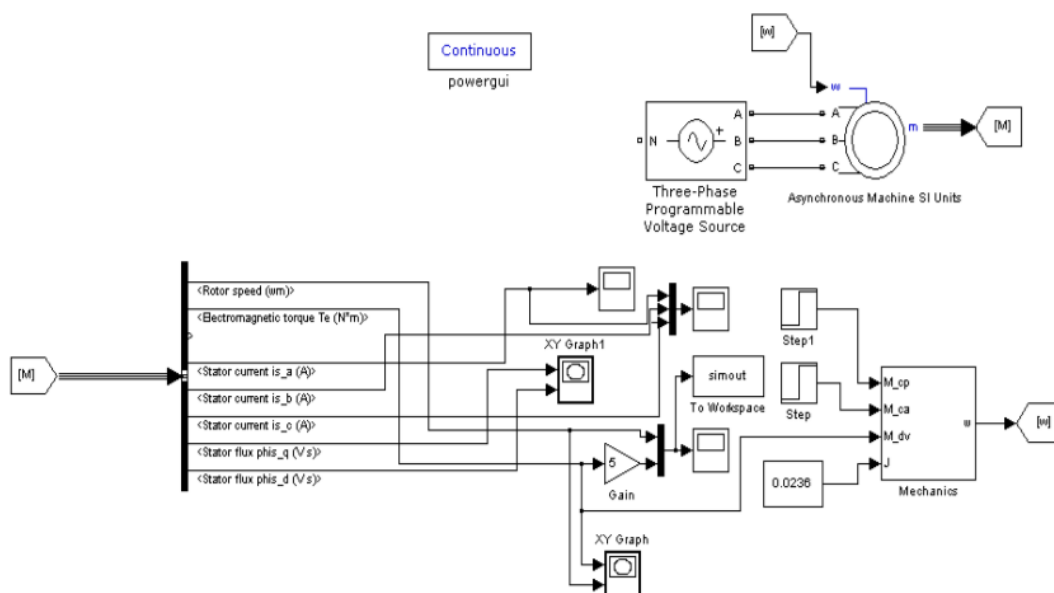


Рисунок 3.9 Имитационная модель силового канала системы преобразователь - асинхронный электродвигатель

Динамические механические и переходные характеристики скорости ротора и электромагнитного момента АД при прямом пуске на частоте преобразователя частоты 50Гц, полученные на модели, представлены на рисунках 3.9-3.11.

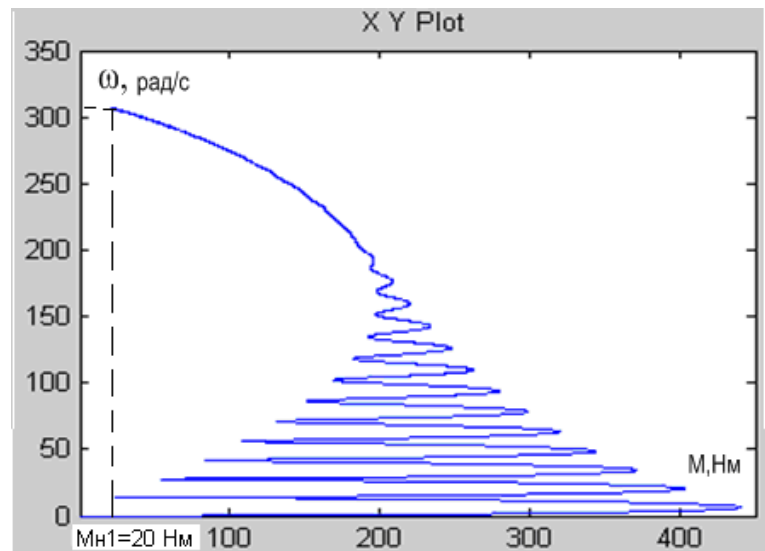


Рисунок 3.10 Динамическая механическая характеристика ПЭД.

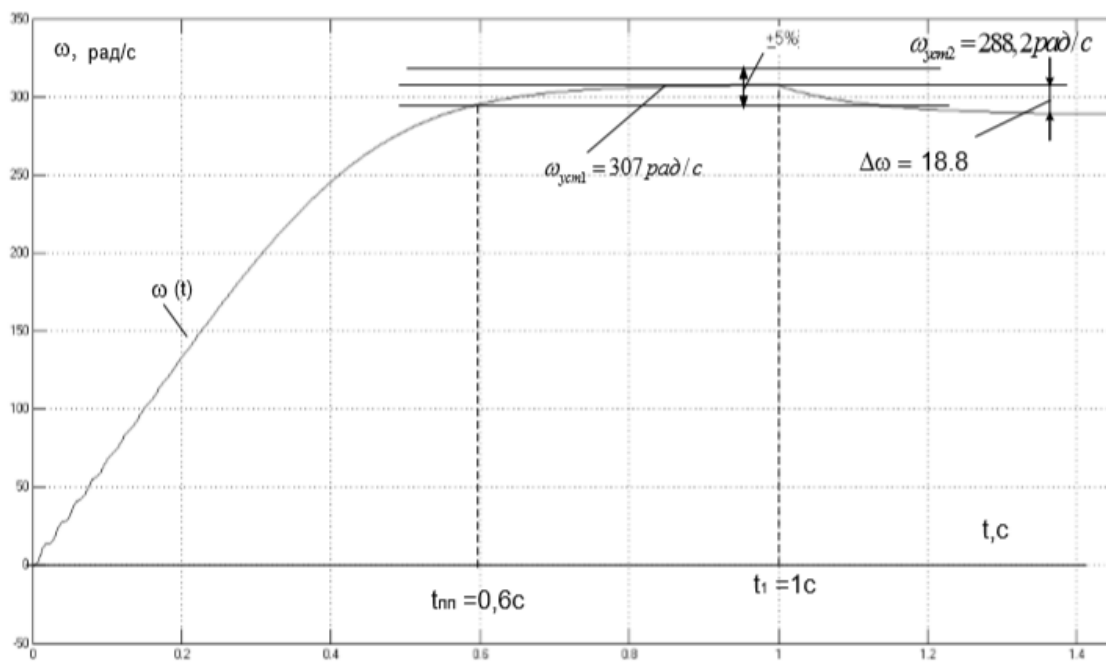


Рисунок 3.11 График переходного процесса скорости ПЭД при набросе нагрузки $M_{н2} = 70 \text{ Нм}$

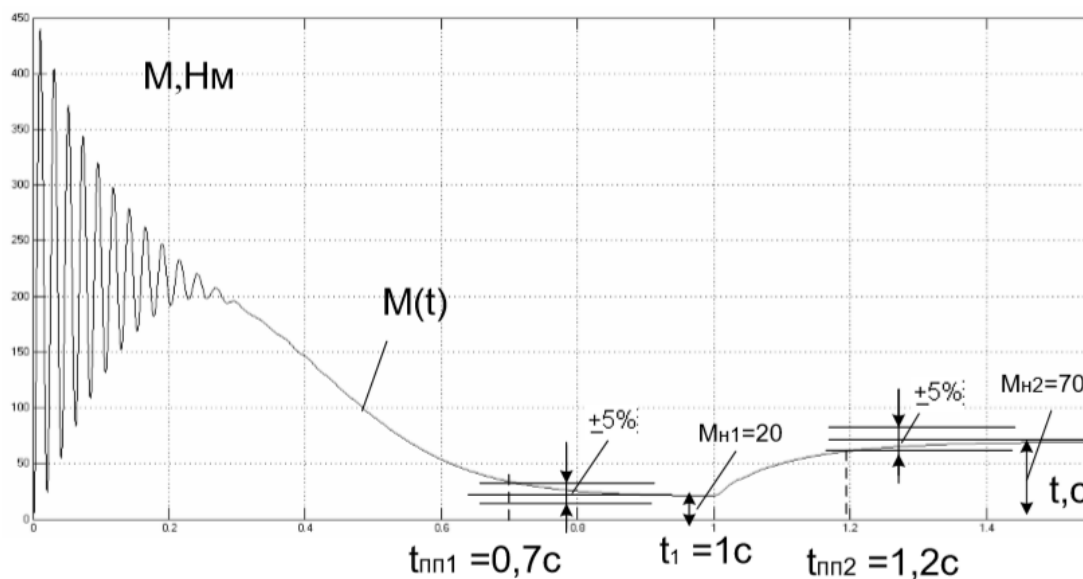


Рисунок 3.12 График переходного процесса момента ПЭД при набросе нагрузки $M_{н1} = 20\text{Нм}$

Из рисунков видно, что с нагрузкой $M_{н1} = 20\text{Нм}$ двигатель развил скорость равную $\omega_{уст} = 307\text{рад/с}$, а при набросе нагрузки $M_{н2} = 70\text{Нм}$ скорость снизилась на величину $\Delta\omega = 18,8\text{рад/с}$ и стала равной $\omega_{уст2} = 288,2\text{рад/с}$.

4. Расчет и построение искусственных механических и электромеханических характеристик разомкнутой системы «Преобразователь частоты - Асинхронный двигатель»

Расчет характеристик производим для частот $f_1 = 50; 40; 20; 5$ Гц. При законе регулирования $Z_p = (U_{1\phi} - 10) / f = (578 - 10) / 50^2 = 0,2272$.

Найдем относительные значения частот питающего напряжения:

| | |
|-----------------------|---|
| при $f_{1н1} = 50$ Гц | $f_{1*1} = f_{1н1} / f_{1н} = 50 / 50 = 1;$ |
| при $f_{1н2} = 40$ Гц | $f_{1*2} = f_{1н2} / f_{1н} = 40 / 50 = 0,8;$ |
| при $f_{1н3} = 20$ Гц | $f_{1*3} = f_{1н3} / f_{1н} = 20 / 50 = 0,4;$ |
| при $f_{1н4} = 5$ Гц | $f_{1*4} = f_{1н4} / f_{1н} = 5 / 50 = 0,1;$ |

Найдем фазное напряжение обмотки статора асинхронного двигателя

$$\begin{aligned}U_{1н1} &= Z_p \cdot f_{1н1}^2 = 0,2272 \cdot 50^2 = 568 \text{ В}; \\U_{1н2} &= Z_p \cdot f_{1н2}^2 = 0,2272 \cdot 40^2 = 363,52 \text{ В}; \\U_{1н3} &= Z_p \cdot f_{1н3}^2 = 0,2272 \cdot 20^2 = 90,88 \text{ В}; \\U_{1н4} &= Z_p \cdot f_{1н4}^2 = 0,2272 \cdot 5^2 = 5,68 \text{ В}.\end{aligned}$$

В соответствии с представленными частотами питающего напряжения произведем расчет значений скорости идеального холостого хода

$$\begin{aligned}\omega_{01} &= \frac{2\pi \cdot f_{1н1}}{\partial} = \frac{2\pi \cdot 50}{1} = 314,159 \text{ рад / с}; \\ \omega_{02} &= \frac{2\pi \cdot f_{1н2}}{\partial} = \frac{2\pi \cdot 40}{1} = 251,2 \text{ рад / с}; \\ \omega_{03} &= \frac{2\pi \cdot f_{1н3}}{\partial} = \frac{2\pi \cdot 20}{1} = 125,6 \text{ рад / с}; \\ \omega_{04} &= \frac{2\pi \cdot f_{1н4}}{\partial} = \frac{2\pi \cdot 5}{1} = 31,4 \text{ рад / с};\end{aligned}$$

Определим токи холостого хода при данных частотах регулирования.

$$I_{01} = \frac{U_{1H1}}{X_{\mu H}} = \frac{568}{44,654} = 12,72 \text{ A};$$

$$I_{02} = \frac{U_{1H2}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*2}} = \frac{363,52}{44,654 \cdot 0,8} = 10,17 \text{ A};$$

$$I_{03} = \frac{U_{1H3}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*3}} = \frac{90,88}{44,654 \cdot 0,4} = 5,09 \text{ A};$$

$$I_{04} = \frac{U_{1H4}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*4}} = \frac{5,68}{44,65 \cdot 0,1} = 1,27 \text{ A};$$

Строим электромеханические характеристики $I'_2(\omega)$ для выбранных частот по выражениям

$$I'_2(s, f) = \frac{U_1(f)}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{\text{KH}}^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}\right)^2}}, \quad (4.1)$$

Где $\omega(s, f) = \omega_0(f) \cdot (1-s)$.

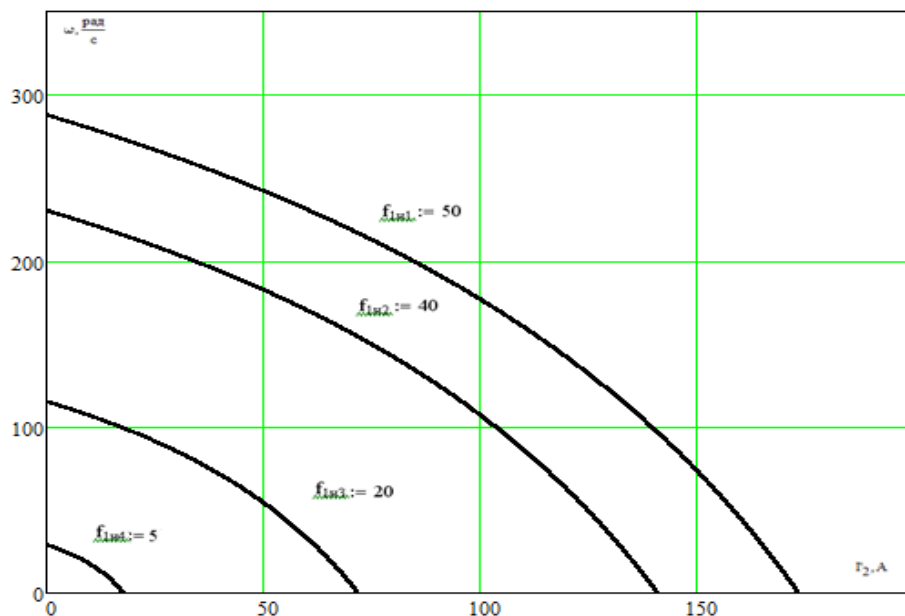


Рисунок 4.1 Искусственные электромеханические характеристики $I'_2(\omega)$ при частотном регулировании скорости

Также строим электромеханические характеристики $I_1(\omega)$ для выбран-

ных частот по выражениям

$$I_1(s, f) = \sqrt{I_0^2(f) + I_2'^2(s, f) + 2 \cdot I_0(f) \cdot I_2'(s, f) \cdot \sin \phi_2(s, f)} \quad (4.2)$$

$$\sin \phi_2(s, f_1) = \frac{X_{\text{KH}} \cdot \frac{f_1}{f_{1\text{H}}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_{\text{KH}} \cdot \frac{f_1}{f_{1\text{H}}}\right)^2}} \quad (4.3)$$

Ток холостого хода асинхронного двигателя в зависимости от частоты

$$I_0(f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_\mu)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1\text{H}}}\right)^2}} \quad (4.4)$$

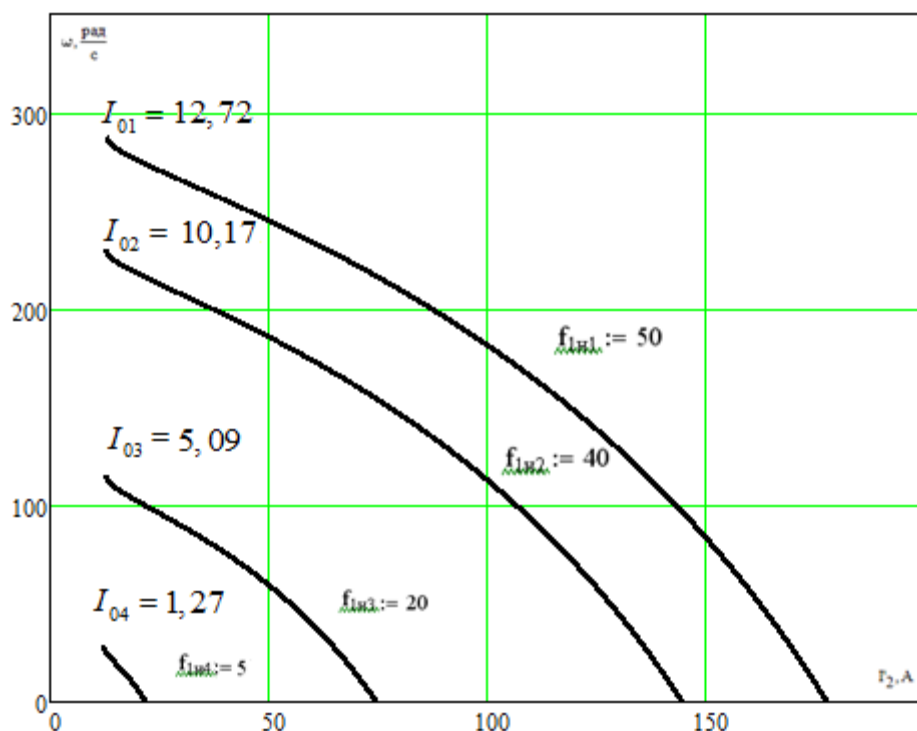


Рисунок 4.2 Искусственные электромеханические характеристики $I_1(\omega)$ при частотном регулировании скорости

Механические характеристики АД $M(\omega)$ рассчитываем для выбранных частот, по выражениям

$$\frac{3 \cdot [U_1(f_1)]^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot s \cdot \left[\left(X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}} \right)^2 \right]} = M_C(\omega) \quad (4.5)$$

Механическая характеристика насоса:

$$M_C(\omega) = 0,15 \cdot M_{\text{об.н}} + 0,85 \cdot M_{\text{об.н}} \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^3$$

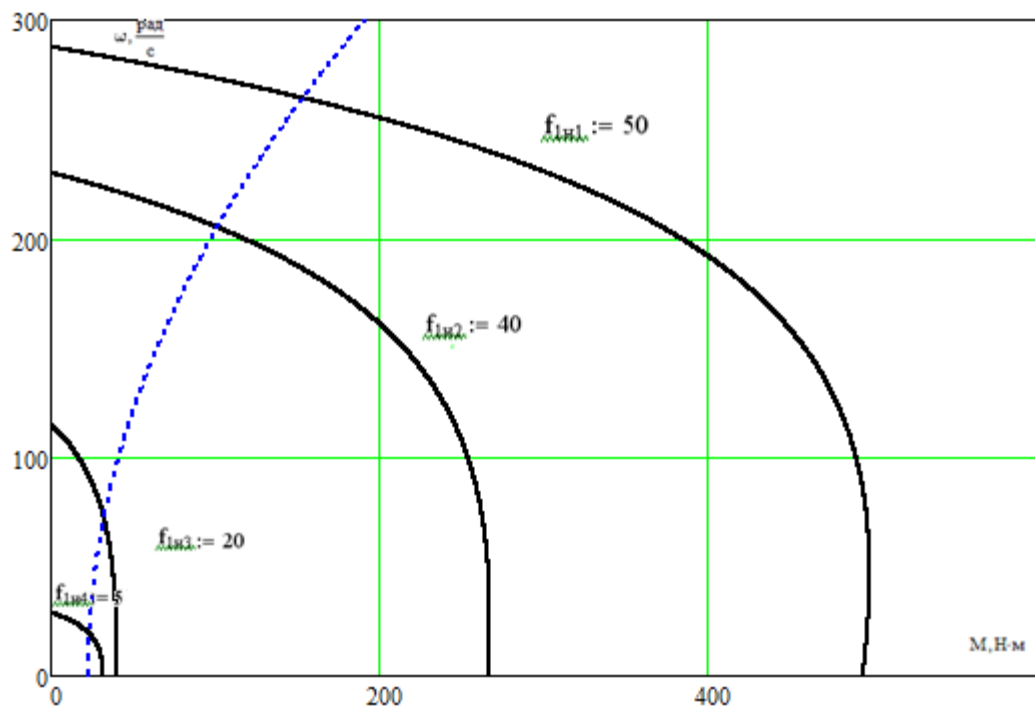


Рисунок 4.3 Искусственные механические характеристики $M(\omega)$ при частотном регулировании скорости

4.1 Функциональная схема частотно–регулируемого асинхронного электропривода

В простом случае частотно–регулируемый асинхронный электро-

привод со скалярным управлением реализуется согласно разомкнутой структуре.

Функциональная схема такого частотно–регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением, выполненная согласно разомкнутой структуре, приведена на рисунке 4.4.

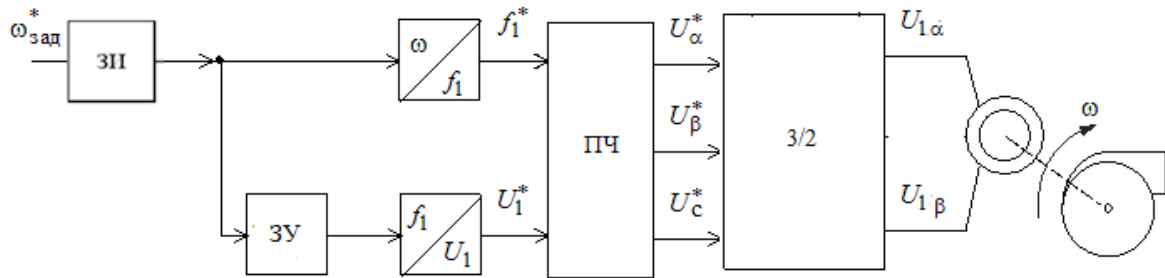


Рисунок 4.4 – Функциональная схема частотно–регулируемого асинхронного электропривода

На функциональной схеме знаком * отмечены сигналы задания и управления и установлены последующие обозначения:

ω – фактическое значение угловой скорости вращения двигателя;

ЗУ – закон управления $U_1 / f_1^2 = \text{const}$;

ЗИ – задатчик интенсивности;

ПЧ – преобразователь частоты напряжения управления двухфазным асинхронным двигателем;

3/2 – преобразователь координат, который преобразует трехфазное напряжение управления в два напряжения переменного тока $U_{1\alpha}$ и $U_{1\beta}$ при применении структурной схемы асинхронного двигателя в неподвижной системе координат статора α и β .

4.2 Имитационная модель силового канала электропривода

Имитационная модель силового канала электропривода представлена на рисунке 4.5.

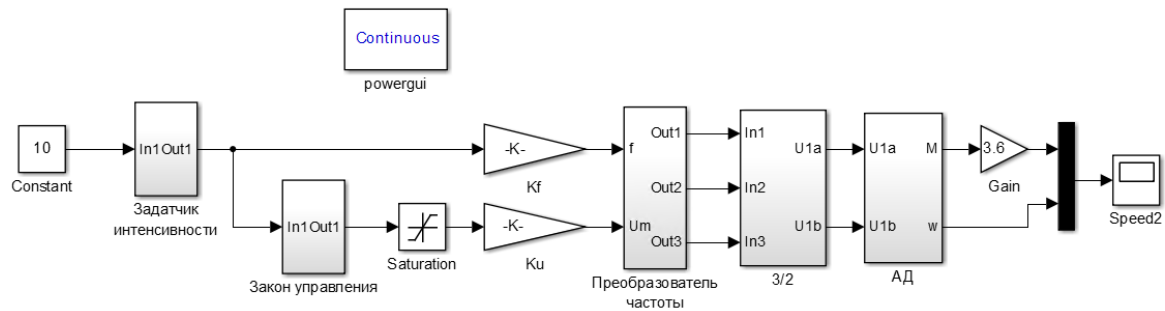


Рисунок 4.5 – Имитационная модель силового канала электропривода

Подсистема «Закон управления» представлена на рисунке 4.6 и реализует математическую функцию при законе регулирования $U_1 / f_1^2 = \text{const}$ и принятой ранее настройке вольт – частотной характеристики

$$U_1(f_1) = U_{\text{мин}} + (U_{\text{лфн}} - U_{\text{мин}}) \cdot \left(\frac{f_1}{f_{\text{лн}}} \right)^2 = 10 + (578 - 10) \cdot \left(\frac{x}{50} \right)^2 = 10 + 0,084x^2 \text{ В} \quad (4.6)$$

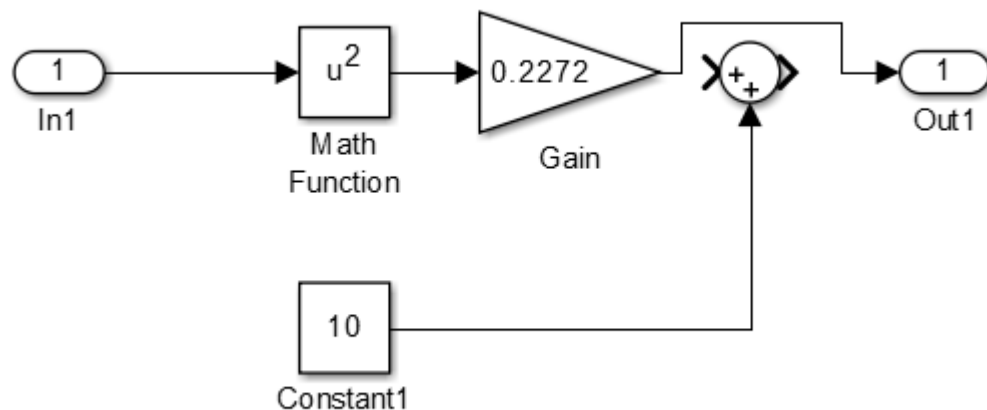


Рисунок 4.6 – Структурная схема подсистемы «Закон управления» при законе управления $U_1 / f_1^2 = \text{const}$ и коррекции вольт–частотной характеристики

Коэффициенты регуляторов напряжения и частоты рассчитываются в соответствии со следующими выражениями:

$$\begin{cases} K_f = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{ном}}}{U_{\text{зч.мах}}}; \\ K_u = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{\text{ф.ном}}}{U_{\text{зч.мах}}}. \end{cases} \quad (4.7)$$

Для ограничения ускорения и максимального тока при пуске двигателя на входе системы управления устанавливается задатчик интенсивности. Структурная схема задатчика интенсивности представлена на рисунке 4.7

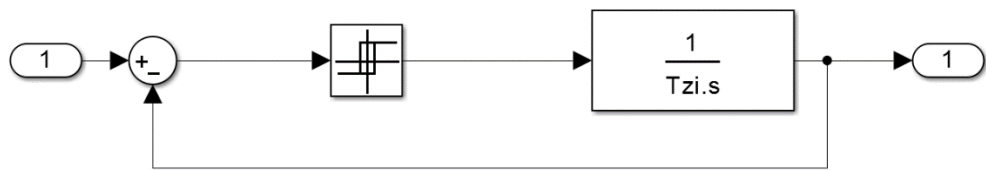


Рисунок 4.7 Структурная схема задатчика интенсивности

Постоянная времени для задатчика интенсивности определяется согласно выражению:

$$T_{\text{зи}} = \frac{\omega_{\text{ном}} \cdot J_{\Sigma}}{1,5 \cdot M_{\text{ном}}}, \quad (4.8)$$

где $J_{\Sigma} = 2,5 \cdot J_{\text{дв}}$ – суммарный момент инерции электропривода.

$$T_{\text{зи}} = \frac{263,017 \cdot 2,5 \cdot 1,78}{1,5 \cdot 152,082} = 5,13 \text{ с}, \quad (4.9)$$

На вход ЗИ поступает сигнал задания скорости, выходное значения изменяется с заданным темпом. Время нарастания выходного сигнала до уровня входного можно изменять путем увеличения либо уменьшения постоянной времени задатчика интенсивности.

Схема набора имитационной модели преобразователя частоты напряжения управления двухфазным асинхронным двигателем, представленного подсистемой «Преобразователь частоты», представлена на рисунке 4.8.

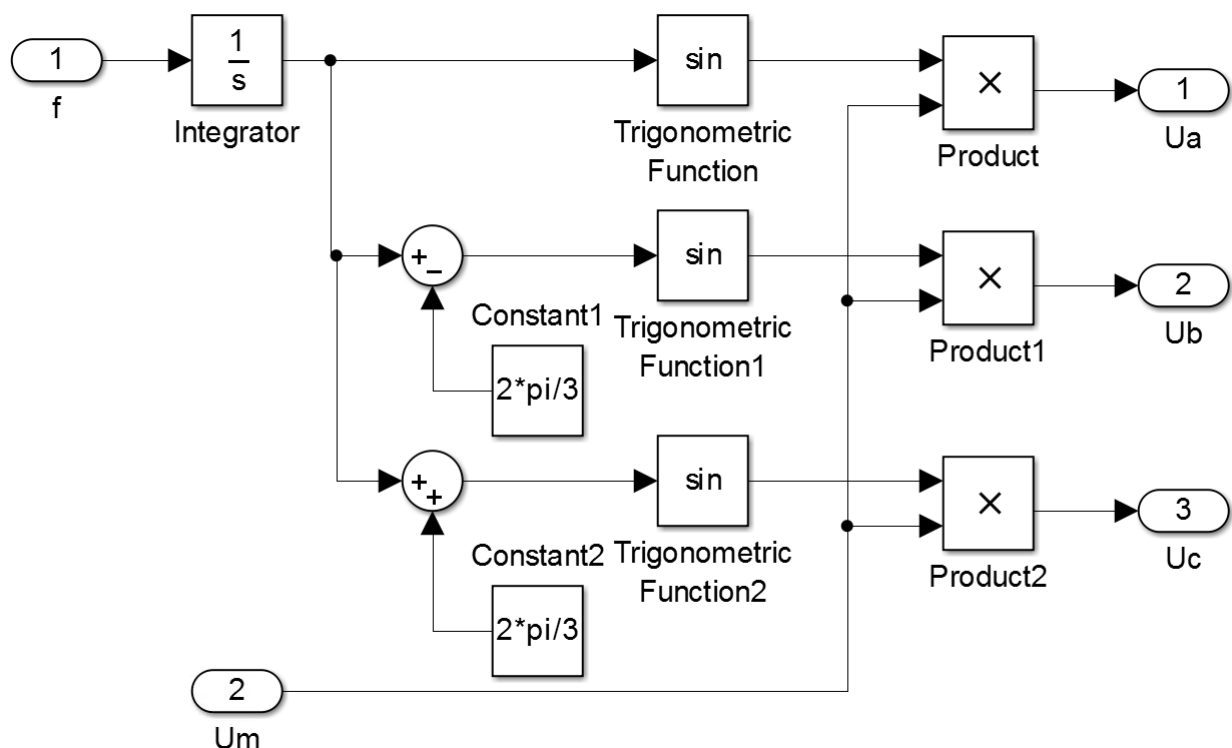


Рисунок 4.8 – Структурная схема подсистемы «Преобразователь частоты»

Преобразователь координат из трехфазной неподвижной системы в неподвижную декартову систему (преобразование Кларка) необходим для векторной системы управления (рис. 4.4).

Преобразование из трехфазной системы координат a , b , c в неподвижную декартову систему координат α и β производится в соответствии с выражениями:

$$\begin{cases} i_{\alpha} = i_a; \\ i_{\beta} = \frac{i_a + 2 \cdot i_b}{\sqrt{3}}. \end{cases} \quad (4.10)$$

Графическая иллюстрация последовательности данного преобразования приведена на рисунке 4.9.

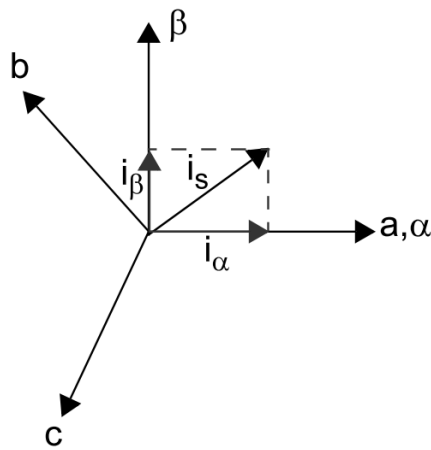


Рисунок 4.9 – Графическая иллюстрация преобразования Кларка

Для реализации данного преобразования в среде MATLAB Simulink создана подсистема «3/2», структурная схема которой представлена на рисунке 4.10.

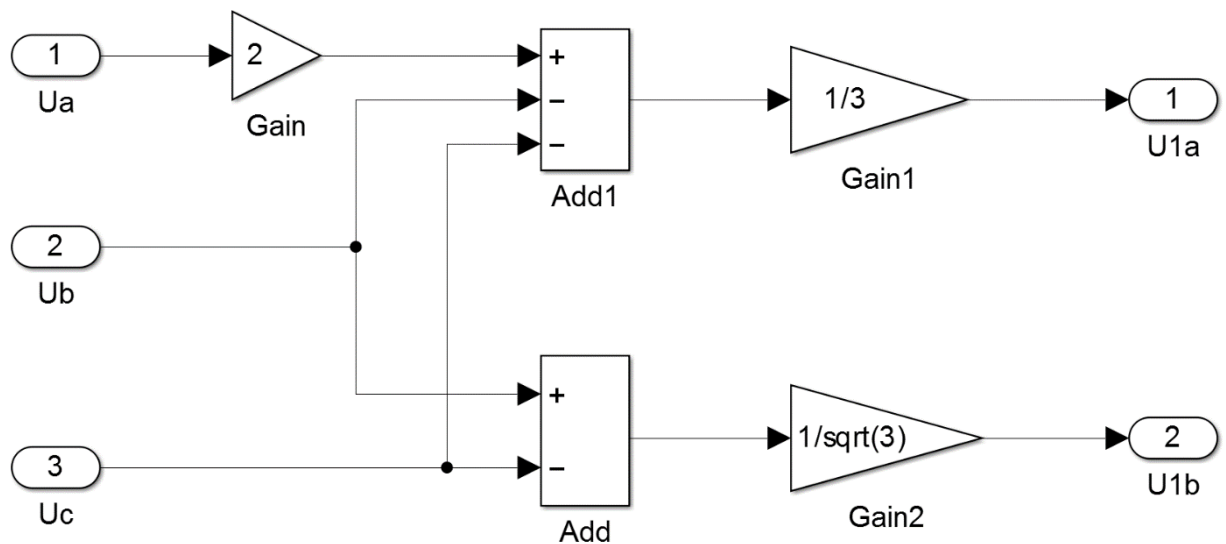


Рисунок 4.10 – Структурная схема подсистемы «3/2»

Имитационная модель асинхронного двигателя с вентиляторной нагрузкой представлена на рисунке 4.11. Вентиляторная нагрузка собрана из стандартных блоков библиотеки Simulink и описывается выражением:

$$M_c(\omega) = 0,15 \cdot M_H + 0,85 \cdot M_H \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^2 \quad (4.11)$$

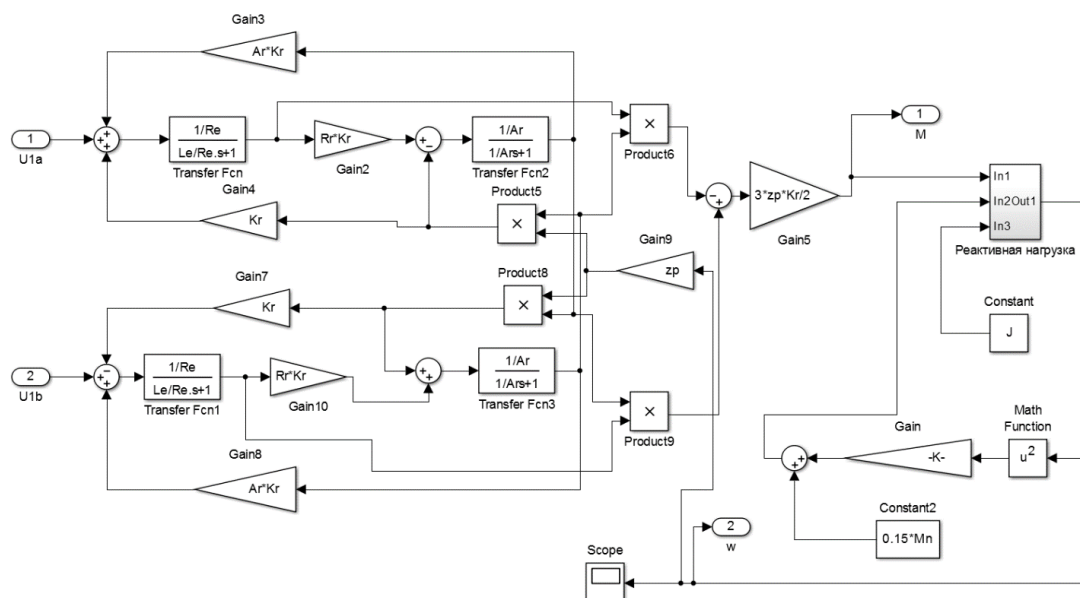


Рисунок 4.11 – Имитационная модель асинхронного двигателя с вентиляторной нагрузкой

4.3 Исследование переходных процессов в асинхронном электроприводе с законом регулирования скорости $U_1 / f_1^2 = \text{const}$

На рисунках 4.12 – 4.15 представлены переходные процессы скорости вала и электромагнитного момента асинхронного электропривода при пуске на частотах $f = 50\text{Гц}$, $f = 40\text{Гц}$, $f = 20\text{Гц}$ и $f = 5\text{Гц}$. [7].

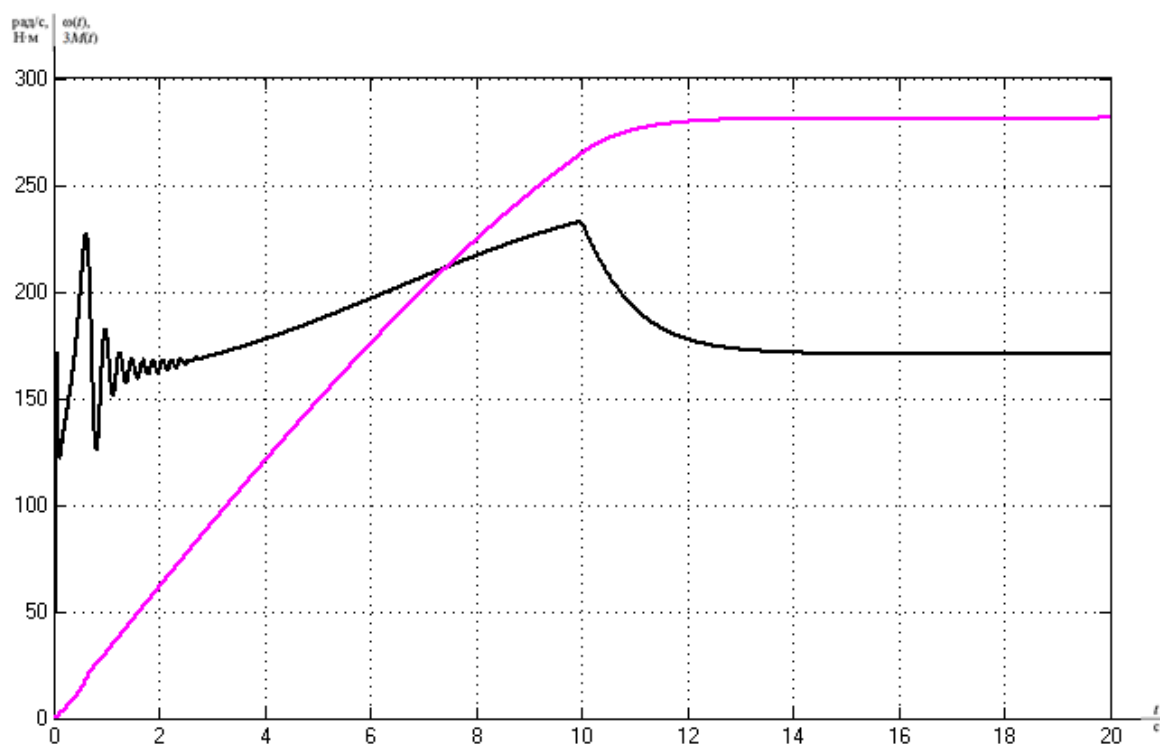


Рисунок 4.12 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости $U_1 / f_1^2 = \text{const}$ при значении частоты $f = 50\text{Гц}$

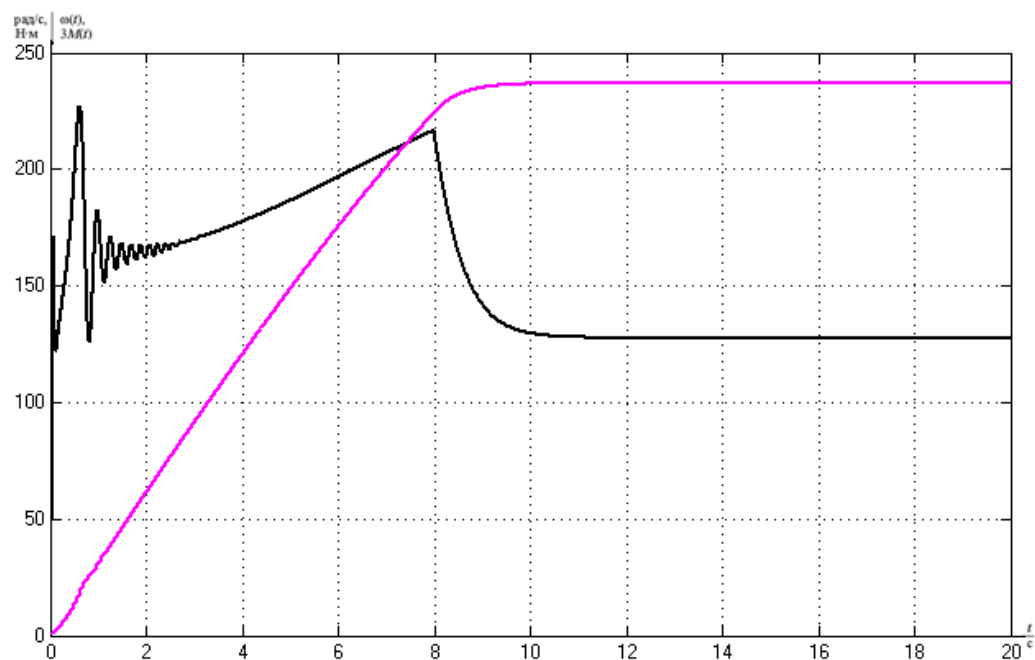


Рисунок 4.13 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости $U_1 / f_1^2 = \text{const}$ при значении частоты $f = 40\text{Гц}$

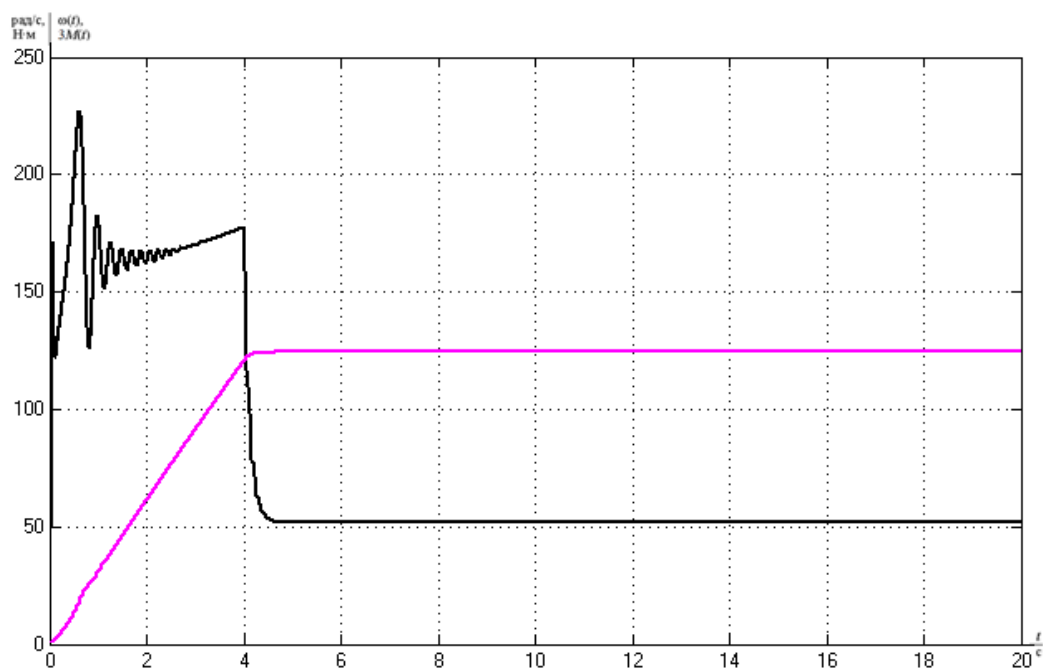


Рисунок 4.14 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости $U_1 / f_1^2 = \text{const}$ при значении частоты $f = 20$ Гц

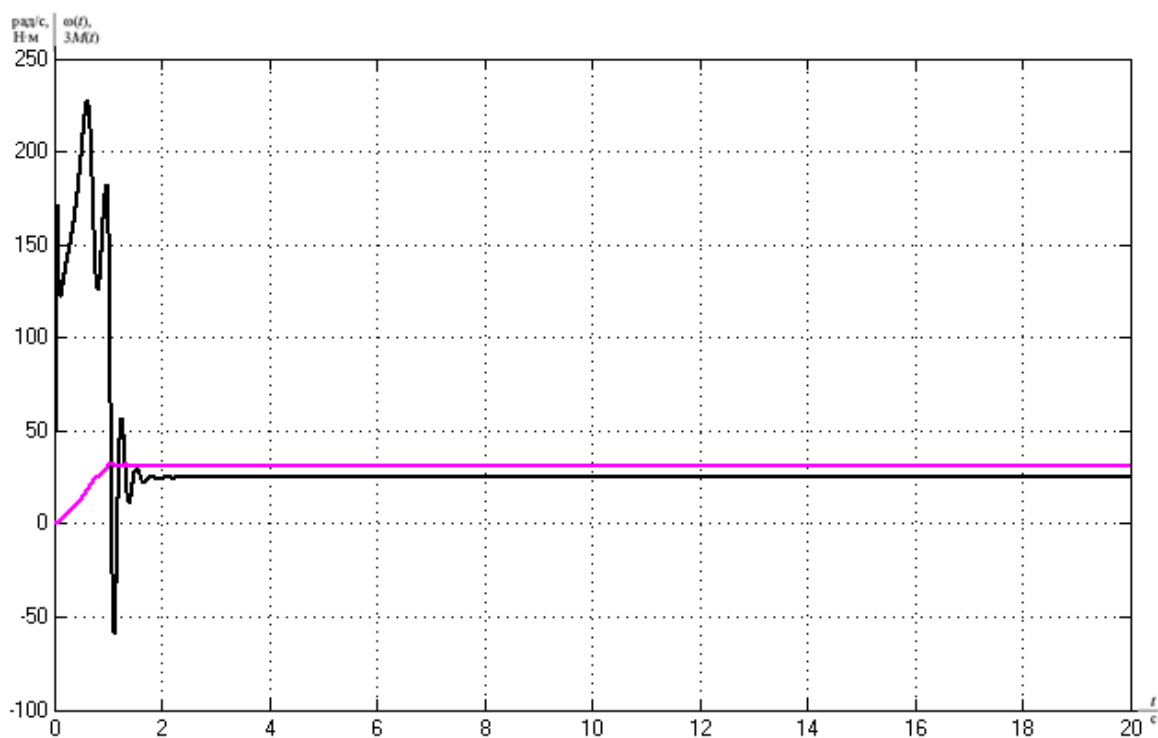


Рисунок 4.15 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости $U_1 / f_1^2 = \text{const}$ при значении частоты $f = 5$ Гц

Итоги имитационных исследований доказывают то, что частотно–регулируемый асинхронный электропривод при скалярном управлении с законом управления $U_1 / f_1^2 = \text{const}$ и корректировкой вольт–частотной характеристики свидетельствует о возможности регулирования скорости двигателя в диапазоне 1:3, а также обеспечивает пуск с начальной частоты $f = 5\text{Гц}$.

5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела является обоснование ресурсоэффективности технического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы.

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

- составление SWOT - анализа работы проектируемого стенда;
- планирование технико - проектировочных работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности проекта.

5.1 SWOT – анализ работы погружного электродвигателя

SWOT – анализ является инструментом стратегического менеджмента и представляет собой комплексное исследование технического проекта.

Применительно к разрабатываемому проекту, SWOT – анализ позволит оценить сильные и слабые стороны, а также его возможности и угрозы.

Для проведения SWOT – анализа составляется матрица SWOT, в которую записываются слабые и сильные стороны проекта, а также возможности и угрозы[8].

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

- С – сильные стороны проекта;
- Сл – слабые стороны проекта;
- В – возможности;
- У – угрозы.

Матрица SWOT приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Матрица SWOT

| | | |
|---|---|---|
| | Сильные стороны проекта: С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Экологичность технологии. С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С4. Допустим обслуживающий персонал низкой квалификации. С5. Быстрота изготовления. С6. Наличие прототипа научной разработки. | Слабые стороны проекта: Сл1. Конкуренция в области электроприводов. Сл2. Отсутствие бюджетного финансирования. |
| Возможности: В1. Предполагаемая заинтересованность потребителя в экономичных и энергоэффективных продуктах. В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт. В3. Повышение стоимости конкурентных разработок. | В1С1С3С4С5; В2С1С2С3С4С5; В3С1С3. | В1В2В4Сл1; |
| Угрозы: У1. Отсутствие спроса. У2. Введение дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции. У3. Развитая конкуренция среди более технологичных электроприводов. | У1С3; У3С1С3С4С5. | У2Сл2; У3Сл1. |

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз (табл. 5.2, 5.3), позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 5.2 – Интерактивная матрица возможностей

| Возможности | Сильные стороны проекта | | | | | |
|-------------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 |
| B1 | + | - | + | + | + | - |
| B2 | + | + | + | + | + | - |
| B3 | + | - | + | - | - | - |
| | Слабые стороны проекта | | | | | |
| | Сл1 | Сл2 | Сл3 | Сл4 | Сл5 | Сл6 |
| B1 | + | - | - | - | - | - |
| B2 | + | - | - | - | - | - |
| B3 | + | - | - | - | - | - |

Таблица 5.3 – Интерактивная матрица угроз

| Угрозы | Сильные стороны проекта | | | | | |
|--------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 |
| У1 | - | - | + | - | - | - |
| У2 | - | - | - | - | - | - |
| У3 | + | - | + | + | + | - |
| | Слабые стороны проекта | | | | | |
| | Сл1 | Сл2 | Сл3 | Сл4 | Сл5 | Сл6 |
| У1 | - | - | - | - | - | - |
| У2 | - | + | - | - | - | - |
| У3 | + | - | - | - | - | - |

Сильные и слабые стороны ТП, которые были обозначены в ходе проведенного анализа, представленные в интерактивных матрицах в таблицах 5.2 и 5.3, дают возможность спланировать изменения, необходимые для повышения эффективности проекта. Конкуренцию в области электроприводов необходимо по возможности минимизировать, основываясь, прежде всего на

имеющихся сильных сторонах. Правильное использование возможностей проекта позволит увеличить объём целевой аудитории, заинтересованной в рассматриваемом проекте, а следовательно, позволит увеличить потенциальную валовую прибыль от его реализации в будущем и уберечь проект от потенциальных угроз.

5.2 Организация работ технического проекта

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках разработки технического проекта;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения проектирования.

5.2.1 Структура работ в рамках технического проектирования

Для выполнения проектирования формируется рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и дипломник. Составлен перечень этапов и работ в рамках проведения проектирования и произведено распределение исполнителей по видам работ.

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 5.4:

№ 1 – формирование технического задания и его утверждение – включает в себя изучение первичной информации об объекте, формулировку требований к техническому проекту, составление задания и плана на работу;

№ 2 – подбор и анализ материалов по теме – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;

№ 3 – выбор направления проекта – изучение разновидностей предмета проекта, выбор одного из видов предмета проекта, подбор макетов (моделей) для проведения проекта;

№ 4 – проведение теоретических расчетов и обоснований

№5 – моделирование процессов работы электропривода – получение экспериментальных данных работы и поведения электропривода при номинальных параметрах и аварийных режимах работы;

№6 – сопоставление результатов экспериментов с теоретическими данными – сравнение результатов экспериментов с теоретическими данными;

№7 – оценка эффективности полученных результатов – обоснование целесообразного использования технических решений, рассмотренных в рамках данной работы с учетом ресурсо – и энергоэффективности;

№ 8 – составление пояснительной записки – включает в себя ознакомление руководителя с выполненными работами, возможные корректировки и исправления, утверждение пояснительной записки;

№ 9 – проверка выпускной квалификационной работы руководителем и исправление замечаний дипломником;

№10 – подготовка к защите ВКР – подготовка и согласование презентации с преподавателем, предварительная защита ВКР.

Таблица 5.4 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

| Основные этапы | № раб | Содержание работ | Должность исполнителя |
|---|-------|--|---------------------------------|
| Разработка технического задания | 1 | Формирование технического задания и его утверждение | Научный руководитель |
| Выбор направления технического проекта | 2 | Подбор и анализ материалов по теме | Дипломник |
| | 3 | Выбор направления проекта | Научный руководитель, дипломник |
| Расчет и выбор оборудования, моделирование проекта и испытание рабочей модели | 4 | Проведение теоретических расчетов и обоснований | Дипломник |
| | 5 | Моделирование процессов работы электропривод | Научный руководитель, дипломник |
| | 6 | Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими данными | |

| | | | |
|---|----|--|---------------------------------|
| Обобщение и оценка результатов | 7 | Оценка эффективности полученных результатов | Научный руководитель, дипломник |
| Оформление отчета по техническому проекту | 8 | Составление пояснительной записки | Дипломник |
| | 9 | Проверка выпускной квалификационной работы руководителем и исправление замечаний дипломником | Научный руководитель, дипломник |
| Сдача ВКР | 10 | Подготовка к защите ВКР | Дипломник |

5.2.2 Определение трудоемкости выполнения ТП

Трудовые затраты часто составляют основную часть стоимости разработки, поэтому ключевым моментом служит определение трудоемкости работ каждого исполнителя.

Трудоемкость выполнения выпускной работы оценивается консультационным путем в рабочих днях и носит случайный характер, т.к. зависит от изобилия трудно рассматриваемых факторов. Для выявления ожидаемого значения трудоемкости $t_{OЖi}$ используется следующая формула[8]:

$$t_{OЖi} = \frac{3t_{\min.i} + 2t_{\max.i}}{5}, \quad (5.1)$$

где $t_{OЖi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i – ой работы, раб. дн.;

$t_{\min.i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i –ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), раб. дн.;

$t_{\max.i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i –ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), раб. дн.

Результаты расчётов продолжительности работ представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Оценка продолжительности работ.

| № | Название работы | Трудоёмкость работ, раб.дн. | | | | | | Длительность работ в рабочих днях | |
|----|--|-----------------------------|-----------|---------------------|-----------|-------------------------|-----------|-----------------------------------|-----------|
| | | Мин. трудо-емкость | | Макс. трудо-емкость | | Ожидае-мая трудоемкость | | | |
| | | Науч. рук-ль | Дипломник | Науч. рук-ль | Дипломник | Науч. рук-ль | Дипломник | Науч. рук-ль | Дипломник |
| 1 | Формирование технического задания и его утверждение | 1 | – | 1 | – | 1 | – | 1 | – |
| 2 | Подбор и анализ материалов по теме | – | 11 | – | 14 | – | 12,2 | – | 12 |
| 3 | Выбор направления проекта | 2 | 5 | 2 | 7 | 2 | 5,8 | 2 | 6 |
| 4 | Проведение теоретических расчетов и обоснований | – | 10 | – | 16 | – | 12,4 | – | 12 |
| 5 | Моделирование процессов работы электропривод | 1 | 24 | 3 | 30 | 1,8 | 26,4 | 2 | 26 |
| 6 | Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими данными | 1 | 6 | 1 | 10 | 1 | 7,6 | 1 | 8 |
| 7 | Оценка эффективности полученных результатов | 1 | 5 | 1 | 7 | 1 | 5,8 | 1 | 6 |
| 8 | Составление пояснительной записки | – | 20 | – | 23 | – | 21,2 | – | 21 |
| 9 | Проверка выпускной квалификационной работы руководителем и исправление замечаний дипломником | 1 | 2 | 3 | 4 | 1,8 | 2,8 | 2 | 3 |
| 10 | Подготовка к защите ВКР | 2 | 4 | 2 | 6 | 2 | 4,8 | 2 | 5 |

Примечание: минимальное t_{\min} и максимальное время t_{\max} получены на основе экспертных оценок.

5.2.3 Разработка графика проведения технического проекта

Наиболее удобным и наглядным в данном случае является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [8].

График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР [8]. На основе таблицы 5.5 строим план – график проведения работ (таблица 5.6).

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 12,5 декад. Продолжительность выполнения технического проекта составит 100 дней. Из них:

- 99 дней – продолжительность выполнения работ дипломника;
- 9 дней – продолжительность выполнения работ руководителя.

5.3 Составление сметы затрат на разработку ТП

Смета затрат включает в себя следующие статьи:

- расчёт материальных затрат;
- расчет полной заработной платы исполнителей;
- расчет отчислений во внебюджетные фонды;
- накладные расходы.

Таблица 5.6 – Диаграмма Ганта

| № | Вид работ | Исполнители | T_{Pi} , раб. дн. | Продолжительность выполнения работ | | | | | | | | | | | | |
|----|--|--------------|---------------------------|------------------------------------|------------------------|------|------------------------|---|------------------------|---|------------------------|------------------------|---|---|------------------------|---|
| | | | | Февр. | | Март | | | Апрель | | | Май | | | Июнь | |
| | | | | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 |
| 1 | Формирование технического задания и его утверждение | Руководитель | 1 | <div><div></div></div> | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Подбор и анализ материалов по теме | Дипломник | 12 | <div><div></div></div> | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Выбор направления проекта | Руководитель | 2 | | <div><div></div></div> | | | | | | | | | | | |
| | | Дипломник | 6 | | <div><div></div></div> | | | | | | | | | | | |
| 4 | Проведение теоретических расчетов и обоснований | Дипломник | 12 | | <div><div></div></div> | | | | | | | | | | | |
| 5 | Моделирование процессов работы электропривод | Руководитель | 2 | | | | <div><div></div></div> | | | | | | | | | |
| | | Дипломник | 26 | | | | <div><div></div></div> | | | | | | | | | |
| 6 | Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими данными | Руководитель | 1 | | | | | | <div><div></div></div> | | | | | | | |
| | | Дипломник | 8 | | | | | | <div><div></div></div> | | | | | | | |
| 7 | Оценка эффективности полученных результатов | Руководитель | 1 | | | | | | | | <div><div></div></div> | | | | | |
| | | Дипломник | 6 | | | | | | | | <div><div></div></div> | | | | | |
| 8 | Составление пояснительной записки | Дипломник | 21 | | | | | | | | | <div><div></div></div> | | | | |
| 9 | Проверка выпускной квалификационной работы руководителем и исправление замечаний дипломником | Руководитель | 2 | | | | | | | | | | | | <div><div></div></div> | |
| | | Дипломник | 3 | | | | | | | | | | | | <div><div></div></div> | |
| 10 | Подготовка к защите ВКР – подготовка презентации. | Руководитель | 2 | | | | | | | | | | | | <div><div></div></div> | |
| | | Дипломник | 5 | | | | | | | | | | | | <div><div></div></div> | |

5.3.1 Полная заработная плата исполнителей

Включается основная и дополнительная заработная плата всех исполнителей, непосредственно участвующих в выполнении данной работы. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Расчет полной заработной платы осуществляется следующим образом:

$$З_{ЗП} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (5.2)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($З_{осн}$) исполнителя рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot F_{дн}, \quad (5.3)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

$F_{дн}$ – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.
(табл. 5.5);

$З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_{окл} + З_{р.к.}}{F_{д}}, \quad (5.4)$$

где $F_{д}$ – количество рабочих дней в месяце;

$З_{окл}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$З_{р.к.}$ – районная доплата, руб.

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 5.7.

Дополнительная заработная плата составляет 12 – 15% от основной, расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 5.8.

Таблица 5.7 – Расчет основной заработной платы

| Исполнители | Оклад, руб. | Районная доплата, руб. | Месячная зарплата, руб. | Среднедневная заработная плата, руб. | Кол-во, раб. дн. | Основная заработная плата руб. |
|--------------|-------------|------------------------|-------------------------|--------------------------------------|------------------|--------------------------------|
| Руководитель | 33 664 | 10 099 | 43 763 | 1 683 | 10 | 16 800 |
| Дипломник | 12 300 | 3 690 | 15 990 | 615 | 99 | 60 900 |
| Итого | | | | | | 77 700 |

Таблица 5.8.– Расчет дополнительной и полной заработной платы

| Исполнители | Коэф. доплаты | Основная заработная плата руб | Дополнительная заработная плата руб | Полная заработная плата, руб. |
|--------------|---------------|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| Руководитель | 0,15 | 16 800 | 2 500 | 19 300 |
| Дипломник | 0,12 | 60 900 | 7 300 | 68 200 |
| Итого | | 77 700 | 9 800 | 87 500 |

5.3.2 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot Z_{ЗП}, \quad (5.5)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

На 2019 г. в соответствии с Федеральным законом от 28.11.2018 №446 – ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot Z_{ЗП} = 30\% \cdot 87,5 = 26,3 \text{ тыс. руб.}$$

5.3.3 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не вклю-

ченные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов проекта, оплата услуг связи, электроэнергия, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Величина накладных расходов принимается в размере 16% от общей суммы затрат.

5.4 Формирование сметы проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования сметы проекта, которая при заключении договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции [8].

Определение затрат на технический проект приведен в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Смета технического проекта

| Наименование | Сумма, тыс. руб. | Удельный вес, % |
|---|------------------|-----------------|
| Затраты по полной заработной плате исполнителей | 87,5 | 64,6 |
| Отчисления во внебюджетные фонды | 26,3 | 19,4 |
| Накладные расходы | 21,7 | 16,0 |
| Сумма затрат ТП | 135,5 | 100,0 |

Исходя из представленной выше таблицы, можно сделать вывод, что общие затраты на реализацию технического проекта составят 135,5 тыс. руб., из которых 64% составит оплата работы исполнителей.

5.5 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности по формуле [8]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (5.6)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Оценку характеристик проекта проведем на основе критериев, соответствующих требованиям к системе электроснабжения промышленных предприятий:

1. Гибкость – возможность частых перестроек технического процесса, расширение системы за счет введения новых технологических модулей;
2. Безопасность – обеспечение безопасности работ при эксплуатации и ремонте оборудования;
3. Помехоустойчивость – максимальное значение электромагнитных помех, воздействующих на установку, при котором она может продолжать работу с требуемыми рабочими характеристиками;
4. Энергосбережение – малое потребление электроэнергии оборудованием;
5. Надежность – способность объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах;
6. Материалоемкость – расход запасов, который приходится на денежную единицу готовой продукции.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 5.10.

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 = 4,55.$$

Таблица 5.10 – Сравнительная оценка характеристик проекта

| Критерии | Весовой коэффициент | Балльная оценка разработки |
|-----------------------|---------------------|----------------------------|
| 1. Гибкость | 0,10 | 4,0 |
| 2. Безопасность | 0,15 | 4,0 |
| 3. Помехоустойчивость | 0,10 | 4,0 |
| 4. Энергосбережение | 0,25 | 5,0 |
| 5. Надежность | 0,30 | 5,0 |
| 6. Материалоемкость | 0,10 | 4,0 |
| Итого: | 1,00 | - |

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5 – балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы безопасности, надёжности и энергосбережения позволяют судить о надёжности системы.

В результате выполнения поставленных задач по данному разделу, можно сделать следующие выводы:

- в результате проведения SWOT – анализа были выявлены сильные и слабые стороны проекта. Угрозы имеют низкие вероятности и незначительное воздействие, что говорит о высокой надёжности проекта;
- при планировании технических работ был разработан график занятости для работников, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителей;
- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта;
- оценка ресурсоэффективности проекта, дала высокий результат (4,55 по 5 – балльной шкале), что говорит об эффективности реализации ТП.

6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Цель данного раздела – анализ вопросов, посвященных организации рабочего места, производственной санитарии, техникой производственной безопасности, охране окружающей среды и обеспечению безопасности при ЧС. Основная задача – соответствие допустимым нормам условий труда для улучшения последних, повышения производительности труда, сохранения работоспособности, а также охраны окружающей среды.

В ходе работы производится ознакомление и сбор литературы (статьи, диссертации, учебные пособия и монографии) по данной тематике, её обработка, моделирование объекта исследования, проведение математических расчетов. Итогом является представление имитационных моделей объектов исследования, составление рекомендаций касательно их работы, а также дополнительные комментарии к результатам исследования.

Работа выполняется в закрытом помещении (кабинет, аудитория), оборудованном компьютерной и офисной техникой, которая необходима для выполнения аналитических исследований, связанных с использованием стандартного и специального программного компьютерного обеспечения.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

При размещении рабочих мест с ПЭВМ, согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, расстояние между рабочими столами с видеомониторами (в направлении тыла поверхности одного видеомонитора и экрана другого видеомонитора) должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов – не менее 1,2 м [9].

Рабочие места с ПЭВМ при выполнении работы, требующей значительного умственного напряжения или высокой концентрации внимания, рекомендуется изолировать друг от друга перегородками высотой 1,5 - 2,0 м.

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600 – 700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы. При этом допускается использование рабочих столов различных конструкций, отвечающих современным требованиям эргономики. Поверхность рабочего стола должна иметь коэффициент отражения 0,5 – 0,7.

Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Тип рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ.

Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно–поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию. Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула (кресла) должна быть полумягкой, с нескользящим, слабо электризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

6.2 Производственная безопасность

Для идентификации потенциальных факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в таблице 6.1 [10].

| Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015) | Этапы работ | | | Нормативные документы |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|---|
| | Разра- ботка | Изго- товле- | Экс- плуата- | |
| 1. Отклонение показателей микроклимата | + | + | + | ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. |
| 2. Недостаточная освещенность рабочей зоны | | + | + | СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* |
| 3. Превышение уровня шума | + | + | + | ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. |
| 4. Повышенный уровень электромагнитных излучений. | | + | + | ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности. |
| 5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека | + | + | + | ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. |
| 6. Повышенный уровень статического электричества. | + | + | + | ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. |
| 7. Опасность поражения электрическим током. | + | + | + | ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. |

Далее более подробно рассмотрены ОПФ и ВПФ, воздействующие на работника, возникшие в связи с разработкой данной системы.

6.2.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

Производственный микроклимат

Микроклимат – это климат внутренней среды производственных помещений, который в производственных условиях определяется следующими параметрами [11]:

- температурой воздуха t °С;
- относительной влажностью воздуха φ , %;
- скоростью движения воздуха v , м/с;
- интенсивностью теплового излучения I , Вт/м².

Аудитория является помещением категории Ia (с энергозатратами до 120 ккал/ч, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением), поэтому должны соблюдаться следующие требования, приведенные в таблице 6.2:

Таблица 6.2 – Оптимальные параметры микроклимата во всех типах учебных помещений с использованием ПЭВМ

| Период года | Категория работ | Температура воздуха, °С | Относ.влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, м/с |
|-------------|-----------------|-------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| Холодный | Ia | 22-24 | 40-60 | 0,1 |
| Теплый | Ia | 23-25 | 40-60 | 0,1 |

Интенсивность теплового облучения работающих от нагретых поверхностей технологического оборудования не должна превышать 100 Вт/м² при облучении не более 25% поверхности тела. Мероприятия по созданию условий для нормальной терморегуляции организма, согласно ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» следующие:

- механизация и автоматизация технологических процессов;
- защита от источников теплового излучения с помощью теплозащитных экранов;
- устройство систем вентиляции;
- кондиционирование воздуха и отопление.

Для создания и поддержания в лаборатории оптимальных значений температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, в холодное время года используется водяное отопление, в теплое время года – кондиционирование воздуха. Устройства систем вентиляции используются круглогодично, т.к. воздух загрязнен вредными парами и пылью. Теплозащитные экраны применяются по необходимости, в основном в теплый период.

В помещениях, оборудованных ПЭВМ, проводится ежедневная влажная уборка и периодическое проветривание после каждого часа работы на ЭВМ.

Освещение

Рабочее освещение необходимо предусматривать для всех помещений зданий, а также участков открытых пространств, предназначенных для работы, прохода людей и движения транспорта. Для помещений, имеющих зоны с разными условиями естественного освещения и различными режимами работы, необходимо наличие раздельного управления освещением данных зон [12].

Требования к освещенности в помещениях, где установлены ПЭВМ, следующие: при выполнении зрительных работ высокой точности (наименьший размер объекта различения 0,3...0,5мм) общая освещенность должна составлять 300 лк, а комбинированная – 750 лк; при выполнении работ средней точности (наименьший размер объекта различения 0,5...1,0 мм) – 200 и 300 лк для общей и комбинированной освещенности соответственно. Также, все поле зрения должно быть освещено равномерно, степень освещения помещения и яркость экрана компьютера должны быть примерно на одном уровне, т.к. яркий свет в районе периферийного зрения значительно увеличивает напряженность глаз и, как следствие, приводит к их быстрой утомляемости. Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормативных условий работы в помещениях.

При выполнении работ категории высокой зрительной точности величина коэффициента естественного освещения (КЕО) должна быть не ниже 1,5%, а при зрительной работе средней точности КЕО должен быть не ниже 1,0%. Для освещения помещений применяются, как правило, газоразрядные лампы низкого и высокого давления – люминесцентные, металлогенные, натриевые, ксеноновые и дуговые ртутные лампы, которые объединяются в светильники.

Кроме этого, нормируются светотехнические параметры дисплея, размеры монитора и символов, цветовые параметры, яркость дисплея, частота обновления кадров, которые влияют на состояние зрения. Слишком высокая освещенность дисплея приводит к уменьшению контраста изображения монитора, а низкая ухудшает восприятие информации, что вызывает усталость глаз. Основными осложнениями при длительной работе на компьютере являются утомление глаз и возникновение головной боли. Существенным фактором, влияющим на утомление глаз, является частота перевода взгляда с дисплея на клавиатуру. Нормируемые параметры монитора компьютера представлены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Допустимые визуальные параметры устройств отображения информации

| Параметры | Допустимые значения |
|---|---|
| Яркость белого поля | Не менее 35 кд/кв.м |
| Неравномерность яркости рабочего поля | Не более $\pm 20\%$ |
| Контрастность (для монохромного режима) | Не менее 3:1 |
| Временная нестабильность изображения | Не должна фиксироваться |
| Пространственная нестабильность изображения | Не более $2 \times 10^{-4} L$, где L – расстояние наблюдения, мм |

Уровень шума

В помещениях с низким уровнем общего шума, каким является лаборатория, источниками шумовых помех могут стать вентиляционные установки, кондиционеры или периферийное оборудование для ЭВМ (плоттеры, принтеры и др). Кроме этого шум может проникать извне через открытые проемы форточек, окон и дверей.

Воздействие этих шумов отрицательно сказывается на эмоциональном состоянии персонала, что уменьшает производительность труда и качество выполняемой работы. Длительное воздействие шума может привести к ухудшению слуха, а в отдельных случаях – к глухоте.

Эквивалентный уровень звука не должен превышать 50 дБА [13]. Для выполнения этих условий рекомендуется применять звукопоглощающее покрытие стен. Также, для снижения уровня шума можно производить:

- облицовку потолка и стен звукопоглощающим материалом (снижает шум на 6-8 дБ);
- экранирование рабочего места (постановкой перегородок, диафрагм);
- установку в компьютерных помещениях оборудования, производящего минимальный шум;
- рациональную планировку помещения.

Допускаемые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах пользователей персональных компьютеров приведены в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Допускаемые уровни звукового давления на рабочих местах

| Уровни звукового давления, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами | | | | | | | | | Уровни звука, дБА |
|--|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------------------|
| 32 Гц | 63 Гц | 125 Гц | 250 Гц | 500 Гц | 1 кГц | 2 кГц | 4 кГц | 8 кГц | |
| 86 дБ | 71 дБ | 61 дБ | 54 дБ | 49 дБ | 45 дБ | 42 дБ | 40 дБ | 38 дБ | 50 |

Уровень электромагнитных излучений

Оценка и нормирование электростатического поля (ЭСП) осуществляется по уровню электрического поля дифференцированно в зависимости от времени его воздействия на работника за смену [14].

Предельно допустимый уровень напряженности ЭСП ($E_{ПДУ}$) при воздействии менее одного часа за смену устанавливается равным 60 кВ/м.

При воздействии ЭСП более одного часа за смену $E_{ПДУ}$ определяются по формуле:

$$E_{ПДУ} = \frac{60}{\sqrt{t}}, \quad (6.1)$$

где t – время воздействия, ч

При напряженностях менее 20 кВ/м время пребывания в электростатических полях не регламентируется. При напряженностях, превышающих 60 кВ/м, работа без применения средств защиты не допускается.

Предельно допустимые уровни электромагнитного поля для ПК приведены в таблице 6.5. [14].

Таблица 6.5 – Предельно допустимые уровни электромагнитного поля

| Источник | Диапазон | Значение ПДУ |
|-------------------------------|--|---|
| Видеодисплейный терминал ПЭВМ | 5 Гц – 2 кГц | $E_{ндy} = 25$ В/м $B_{ндy} = 250$ нТл |
| | 2 – 400 кГц | $E_{ндy} = 2,5$ В/м $B_{ндy} = 25$ нТл |
| | поверхностный электростатический потенциал | $U = 500$ В |

Основными источниками электромагнитных полей в помещении являются системы потребления электроэнергии, мониторы, оборудование, потребляющее электроэнергию. Однако основным источником электромагнитного излучения является персональный компьютер (ПК), частоты излучения приведены в таблице 6.6 [14].

Таблица 6.6 – ПК как источник электромагнитных полей

| Источник | Диапазон частот |
|---|--|
| Монитор: <ul style="list-style-type: none"> – сетевой трансформатор блока питания – статический преобразователь напряжения в импульсном блоке питания – блок кадровой развертки и синхронизации – блок кадровой развертки и синхронизации – ускоряющее анодное напряжение монитора (только для мониторов с ЭЛТ) | <p>50 Гц</p> <p>20 - 100 кГц</p> <p>48 - 160 Гц</p> <p>15 - 110 кГц</p> <p>0 Гц (электростатика)</p> |
| Системный блок | 50 Гц - 1000 МГц |
| Устройства ввода/вывода информации | 0 Гц, 50 Гц |
| Источники бесперебойного питания | 50 Гц, 20 - 100 кГц |

Монитор создает вокруг себя ЭМП как низкой, так и высокой частоты, что способствует появлению электростатического поля и ведет к деионизации воздуха вокруг, а это влияет на развитие клеток тканей организма. В целях предосторожности следует обязательно использовать защитные экраны, а также рекомендуется ограничивать продолжительность работы с экраном ВДТ, не размещать их концентрированно в рабочей зоне и выключать их, если их не используют. Наряду с этим нужно устанавливать в помещении с ВДТ ионизаторы воздуха, чаще проветривать помещение и, хотя бы один раз в течение рабочей смены очищать экран от пыли.

6.2.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

Электробезопасность

Электробезопасность – система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих вредное и опасное воздействие на работающих электрического тока и электрической дуги. Любое производство

характеризуется широким применением различных электроустановок. В связи с этим в общей системе инженерно-экологических мероприятий имеют важную роль вопросы обеспечения электробезопасности.

В данном помещении присутствуют только электроустановки напряжением до 1кВ. Помещение по классу электробезопасности можно отнести к помещениям без повышенной опасности (сухое, хорошо отапливаемое, помещение с изолированными полами, с температурой 18-20°, с влажностью 40-50%). Опасное воздействие электрического тока, электрической дуги проявляется в виде термических, электролитических, механических, биологических повреждений, которые производит электрический ток, проходя через организм человека [15].

Основными техническими средствами защиты являются автоматическое отключение питания (зануление), защитное заземление, устройства защитного отключения. Наличие данных средств защиты предусмотрено в рабочей зоне помещения. Также периодически проводится инструктаж работников по технике безопасности в целях профилактики [15].

Согласно требованиям ПУЭ, сопротивление защитного заземления не должно превышать:

- в установках напряжением до 1000 В, если мощность источника тока (генератора или трансформатора) более 100 кВА – 4 Ом;
- в установках напряжением до 1000 В, если мощность источника тока 100 кВА и менее – 10 Ом.

Заземление корпуса ЭВМ обеспечено подведением заземляющей жилы к питающим розеткам. Сопротивление заземления 4 Ом, согласно ПУЭ для электроустановок с напряжением до 1000 В.

Организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность использования электроустановок, включают в себя:

- правильный подбор персонала, обслуживающего электроустановки (запрещение использования труда лиц моложе 18 лет, а также необученных

и непрошедших медицинское освидетельствование для выполнения работ данного вида);

- обучение правилам безопасности при обслуживании электроустановок, т. е. проведение специального обучения для выполнения работ с повышенной опасностью, аттестации, инструктажей по безопасности труда, разработка и издание инструкций по охране труда, применение средств пропаганды правил электробезопасности (плакатов, видеофильмов и пр.);
- назначение ответственных за электрохозяйство лиц;
- контроль за правильностью устройства электропроводок и установкой электрооборудования в соответствии с ПУЭ;
- проведение периодических осмотров, измерений и испытаний электрооборудования (в сухих помещениях — 1 раз в два года, в сырых — ежегодно, при этом сопротивление рабочей изоляции проводов, кабелей и электрооборудования в процессе эксплуатации не должно быть менее 0,5 и 2 МОм для двойной или усиленной изоляции), а в случае несоответствия предъявляемым требованиям — его ремонта.

6.3. Экологическая безопасность

Технологический процесс исследования системы управления вентильного двигателя, а также её использование не представляет угрозы для окружающей среды. Это связано с тем, что процесс является безотходным, и в течение работы нет выделения опасных для экологического состояния элементов. Показатели выделяемого тепла, электромагнитных излучений также не превышают допустимых значений. Данная система может применяться на любых предприятиях, которые нуждаются в ней.

При обращении с твердыми отходами — бытовой мусор (отходы бумаги, отработанные специальные ткани для протирки офисного оборудования и экранов мониторов, пищевые отходы); отработанные люминесцентные лам-

пы; офисная техника, комплектующие и запчасти, утратившие в результате износа потребительские свойства – надлежит руководствоваться [12]: бытовой мусор после предварительной сортировки складывают в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку); утратившее потребительские свойства офисное оборудование передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах. Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с СНиП 23-05-95. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу опасности. Интоксикация ртутью возможна только в случае разгерметизации колбы, поэтому основным требованием экологической безопасности является сохранность целостности отработанных ртутьсодержащих ламп. Отработанные газоразрядные лампы помещают в защитную упаковку, предотвращающую повреждение стеклянной колбы, и передают специализированной организации для обезвреживания и переработки.

6.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее вероятная чрезвычайная ситуация, которая может возникнуть во время разработки системы управления вентильного двигателя – пожар.

Причинами возникновения пожара могут быть:

- неисправности электропроводки, розеток и выключателей, которые могут привести к короткому замыканию или пробое изоляции;
- использование поврежденных (неисправных) электроприборов;
- использование в помещении электронагревательных приборов с открытыми нагревательными элементами;
- возгорание здания вследствие внешних воздействий;

- неаккуратное обращение с огнем и несоблюдение мер пожарной безопасности.

Для снижения вероятности возникновения пожароопасных ситуаций необходимо производить пожарную профилактику (комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращении пожара, ограничение его распространения, а также создание условий для успешного тушения пожара). Для профилактики пожара чрезвычайно важна правильная оценка пожароопасности здания, определение опасных факторов и обоснование способов и средств оповещения и защиты.

Одно из условий обеспечения пожаробезопасности – ликвидация возможных источников воспламенения.

Порядок действий персонала при возникновении пожара в электроустановке [16]:

1. При появлении признаков возгорания в электроустановке первое, что следует сделать – это оценить ситуацию, составить общее представление о происходящем;
2. Без промедления необходимо сообщить о случившемся вышестоящему персоналу – научному руководителю, заведующему лабораторией и т.д.;
3. Оценив масштаб возгораний, определяется дальнейший порядок действий. Если возгорание не удастся ликвидировать самостоятельно, то необходимо вызвать пожарную охрану по мобильному или стационарному телефону, или внутренней телефонной связи;
4. При прибытии пожарной бригады необходимо встретить ее, предварительно приняв требуемые меры электробезопасности. Также необходимо показать возможные подъездные пути, места заземления техники, место расположения пожарного гидранта и других элементов водоснабжения.

К основным видам техники, предназначенной для защиты различных объектов от пожаров, относятся средства сигнализации и пожаротушения.

Помещения с электрооборудованием должны быть оснащены огнетушителями типа ОУ-2, ОУ-5 или ОП-5 (предназначены для тушения любых материалов, предметов и веществ, а также электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В, применяется для тушения ПК и оргтехники).

Важную роль при возникновении ЧС играет успешная эвакуация людей. Для того чтобы чётко обозначить пути эвакуации, эвакуационные выходы, обеспечивающие безопасность процесса организованного самостоятельного движения людей из помещений, а также указать расположение пожарного оборудования и средств оповещения о пожаре и напомнить о первоочередных действиях при пожаре применяется план эвакуации.

В разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены опасные и вредные факторы, влияющие на жизнь и здоровье людей, а также факторы, влияющие на экологию.

Полученные результаты в данном разделе полностью отражают все возможные вредные и опасные факторы, возникающие в процессе работы. В разделе приведены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, производственная безопасность и документация, регламентирующая действия рабочих, которые её обеспечивают, вопросы, связанные с экологической безопасностью и безопасностью в чрезвычайных ситуациях. Все рассмотренные вопросы имеют определенные правила для рабочих и имеют возможность их внедрения непосредственно на производственном участке.

Заключение

В итоге выполнения выпускной квалификационной работы была разработана и исследована с помощью программы Matlab погружного асинхронного электропривода. Был проведен анализ литературы по тематике исследования. На основании технического задания был выполнен выбор и расчет параметров погружного электродвигателя, предложено использовать современный асинхронный частотно-регулируемый электропривод. Выбран электродвигатель серии ПЭД 40-103, преобразователь частоты Электрон-05. Получены механические и электромеханические характеристики выбранного асинхронного двигателя, построенные по расчетным и каталожным значениям. В качестве закона управления, для преобразователя частоты выбран закон регулирования $U_1 / f_1^2 = \text{const}$.

Также произведено моделирование переходных процессов при пуске двигателя в программной среде Matlab. С использованием имитационных моделей построены динамические характеристики. Был реализован задатчик интенсивности (ЗИ).

В разделе финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение можно сделать выводы:

- в результате проведения SWOT – анализа были выявлены сильные и слабые стороны проекта. Угрозы имеют малую вероятность и незначительное воздействие, о чём говорит высокая надежность проекта;
- при планировании технических работ был разработан график занятости для работников, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителей.

В разделе социальной ответственности проанализированы небезопасные и вредоносные производственные условия, предоставлены практические рекомендации по технике безопасности и производственной санитарии.

Список использованных источников

1. [Электронный ресурс] Научно технический вестник URL: https://snpz.rosneft.ru/upload/site1/document_publication/177209/attach_3-2014.pdf (дата обращения 02.04.2019)
2. Чернышев А. Ю., рисунок Чернышев И. А. Расчет характеристики электроприводов переменного тока. Часть 1. Асинхронный двигатель. Учебное пособие./Томский политехнический университет. – Томск: Издательство ТПУ, 2005.–136 с.
3. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование электроприводов. Часть 4. – тиристорные преобразователи для электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2002. – 152 с.
4. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о преобразователе частоты URL: <http://www.vesper.ru/catalog/invertors/ei-p7012/сpec-7012>
5. Дементьев Ю.Н., Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Электрический электропривод: учебное пособие. –Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 244 с.
6. Мальцева О.П., Удут Л.С., Кояин Н.В. Системы управления асинхронных частотно-регулируемых электроприводов. – Томск: Изд. ТПУ, 2011. – 476с.
7. Терёхин В.Б. Разработка моделей элементов и систем автоматизированного электропривода в среде Matlab: учебное пособие / В.Б. Терёхин; – Северск: СТИ НИЯУ МИФИ, 2017. – 511 с.
8. И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – 36 с.
9. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.

10. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
11. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
12. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95
13. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
14. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности.
15. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
16. Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ, Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.